

**Faculté des bioingénieurs**

# **Développement de méthodes pour établir le zonage intraparcellaire et le contexte écologique de chaque parcelle agricole dans la perspective d'une agriculture plus durable**

Auteur : Daphné Deville  
Promoteurs : Prof. Pierre Defourny (UCL)  
Louis de la Motte (Natagriwal)  
Encadrante : Céline Champagne (UCL)

Lecteurs : Prof. Xavier Draye (UCL)  
Prof. Sophie Bontemps (UCL)

Année académique 2021-2022

Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de  
Bioingénieur : sciences et technologies de l'environnement





## Remerciements

Pour commencer, je souhaite remercier mon promoteur Pierre Defourny, ainsi que mon co-promoteur Louis de la Motte, pour leurs précieux conseils et idées pour améliorer mon travail tout au long de cette année.

Ensuite, j'aimerais remercier Céline Champagne, avec qui j'ai pu travailler sur la première partie de mon mémoire. Elle a toujours été disponible, et m'a apporté une aide inestimable. Merci également aux chercheurs du laboratoire de Géomatique d'avoir pu m'aider, de près ou de loin, lorsque je rencontrais certaines difficultés.

Merci à Arnaud Laudelout et Thomas Coppee pour leurs conseils quant à la seconde partie du mémoire.

Merci également à celles et ceux qui m'ont aidé pour la relecture de ce mémoire, et aux lecteurs qui m'accordent de leur temps pour lire ce travail.

Enfin, merci à ma famille et mes amis de m'avoir soutenu durant ce travail, et durant l'entièreté de mes études.

# Table des matières

|                                                                                         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Remerciements.....                                                                      | i    |
| Table des matières.....                                                                 | ii   |
| Liste des figures .....                                                                 | v    |
| Liste des tableaux.....                                                                 | vi   |
| Liste des abréviations.....                                                             | viii |
| 1 Introduction.....                                                                     | 1    |
| 2 Synthèse bibliographique.....                                                         | 3    |
| 2.1 BELCAM.....                                                                         | 3    |
| 2.2 L'hétérogénéité des parcelles agricoles .....                                       | 4    |
| 2.2.1 Notion d'hétérogénéité intraparcellaire structurelle .....                        | 4    |
| 2.2.2 Agriculture de précision.....                                                     | 4    |
| 2.2.3 Facteurs traduisant de l'hétérogénéité d'une parcelle.....                        | 4    |
| 2.2.3.1 Cartes pédologiques .....                                                       | 5    |
| 2.2.3.2 Cartes topographiques.....                                                      | 5    |
| 2.2.3.3 Axes de ruissellement .....                                                     | 5    |
| 2.2.4 Indices permettant de mesurer l'hétérogénéité d'une parcelle .....                | 5    |
| 2.2.4.1 <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> , NDVI.....                       | 6    |
| 2.2.4.2 <i>Leaf Area Index</i> , LAI et <i>Green Area Index</i> , GAI .....             | 6    |
| 2.2.5 L'hétérogénéité intraparcellaire .....                                            | 6    |
| 2.2.5.1 Lien entre télédétection et rendements agricoles .....                          | 6    |
| 2.2.5.2 NDVI pour traduire l'hétérogénéité intraparcellaire.....                        | 7    |
| 2.2.5.3 Méthodes de classification pour traduire l'hétérogénéité intraparcellaire ..... | 8    |
| 2.3 La qualité écologique des parcelles agricoles .....                                 | 8    |
| 2.3.1 Méthodes Agro-Environnementales et Climatiques, MAEC.....                         | 8    |
| 2.3.2 Natura 2000.....                                                                  | 9    |
| 2.3.3 Indicateur des bordures de champs .....                                           | 10   |
| 2.3.4 Indicateur des prairies .....                                                     | 10   |
| 2.3.5 Indicateur à l'échelle de l'exploitation agricole.....                            | 10   |
| 2.3.6 Évaluation de la biodiversité agricole.....                                       | 11   |
| 3 Objectif .....                                                                        | 13   |
| 4 Matériel et méthode .....                                                             | 14   |
| 4.1 Hétérogénéité des parcelles agricoles .....                                         | 14   |
| 4.1.1 Zones d'étude.....                                                                | 15   |
| 4.1.1.1 Localisation géographique .....                                                 | 15   |
| 4.1.1.2 Type de sols .....                                                              | 16   |

|         |                                                                                                        |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.2   | Calcul du LAI .....                                                                                    | 18 |
| 4.1.3   | Post-traitement des données.....                                                                       | 18 |
| 4.1.3.1 | Nettoyage des données.....                                                                             | 18 |
| 4.1.3.2 | Choix de la période .....                                                                              | 19 |
| 4.1.4   | Analyses statistiques de l'hétérogénéité .....                                                         | 20 |
| 4.1.4.1 | Déviati on absolue par rapport à la moyenne saisonnière du LAI (indicateur 1) .....                    | 21 |
| 4.1.4.2 | Moyenne saisonnière du LAI (indicateur 2) .....                                                        | 23 |
| 4.1.4.3 | Maximum de la déviati on absolue par rapport à la moyenne instantanée du LAI (indicateur 3) .....      | 24 |
| 4.1.4.4 | Maximum de la déviati on absolue par rapport à la moyenne saisonnière du LAI (indicateur 4) .....      | 26 |
| 4.1.4.5 | Rapport de la dispersion des valeurs saisonnières du LAI sur celle de la parcelle (indicateur 5) ..... | 27 |
| 4.1.5   | Deuxième période .....                                                                                 | 29 |
| 4.1.6   | Classement hétérogénéité intraparcellaire .....                                                        | 29 |
| 4.1.7   | Validation des indicateurs.....                                                                        | 30 |
| 4.1.7.1 | Comparaison 2019 et 2020 .....                                                                         | 30 |
| 4.1.7.2 | Comparaison avec d'autres sources de données .....                                                     | 31 |
| 4.2     | Écologie des parcelles agricoles .....                                                                 | 31 |
| 4.2.1   | Zone d'étude .....                                                                                     | 31 |
| 4.2.2   | Méthodologie générale.....                                                                             | 32 |
| 4.2.3   | Description du calcul de chaque axe.....                                                               | 36 |
| 4.2.3.1 | Axe « Taille ».....                                                                                    | 36 |
| 4.2.3.2 | Axe « Mare » .....                                                                                     | 36 |
| 4.2.3.3 | Axe « Bandes aménagées ».....                                                                          | 37 |
| 4.2.3.4 | Axe « Haies et arbres » .....                                                                          | 38 |
| 5       | Résultats et discussion .....                                                                          | 39 |
| 5.1     | Hétérogénéité des parcelles agricoles .....                                                            | 39 |
| 5.1.1   | Comparaison 2019 et 2020 .....                                                                         | 41 |
| 5.1.2   | Comparaison avec d'autres sources de données .....                                                     | 42 |
| 5.1.2.1 | Facteurs .....                                                                                         | 42 |
| 5.1.2.2 | La plateforme BELCAM .....                                                                             | 45 |
| 5.1.2.3 | Conclusion de l'hétérogénéité sur base d'autres sources.....                                           | 46 |
| 5.1.3   | Discussion.....                                                                                        | 47 |
| 5.2     | Écologie des parcelles agricoles .....                                                                 | 50 |
| 5.2.1   | Prairie.....                                                                                           | 50 |
| 5.2.1.1 | Axe « Taille ».....                                                                                    | 50 |

|         |                                                                           |    |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2.1.2 | Axe « Mare » .....                                                        | 50 |
| 5.2.1.3 | Axe « Haies et arbres » .....                                             | 53 |
| 5.2.1.4 | Score final des prairies.....                                             | 55 |
| 5.2.2   | Champ .....                                                               | 56 |
| 5.2.2.1 | Taille .....                                                              | 56 |
| 5.2.2.2 | Axe « Bandes aménagées ».....                                             | 57 |
| 5.2.2.3 | Axe « Haies et arbres » .....                                             | 59 |
| 5.2.2.4 | Score final des champs.....                                               | 61 |
| 5.2.3   | Discussion .....                                                          | 62 |
| 6       | Conclusion .....                                                          | 64 |
| 7       | Bibliographie.....                                                        | 66 |
| 8       | Annexes.....                                                              | 70 |
|         | Annexe A : Graphes du LAI et du CV du LAI .....                           | 70 |
|         | Annexe B : Suite des matrices de cooccurrence des indicateurs 2 à 5 ..... | 72 |

## Liste des figures

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Classification des types de bordures de champ (Lebris et al. 2010) .....                                                    | 10 |
| Figure 2 : Organigramme représentant les étapes suivies dans la méthodologie .....                                                     | 14 |
| Figure 3 : Localisation de la zone d'étude utilisée pour la calibration de la méthode.....                                             | 15 |
| Figure 4 : Localisation de la seconde zone d'étude .....                                                                               | 16 |
| Figure 5 : Textures du sol de la seconde zone d'étude (CNSW, Géoportail de Wallonie) .....                                             | 17 |
| Figure 6 : Topographie et cours d'eau de la seconde zone d'étude (MNT 2013-2014 et LIDAXES, Géoportail de Wallonie).....               | 18 |
| Figure 7 : Topographie et axes de ruissellement du champ 1 .....                                                                       | 20 |
| Figure 8 : Topographie et axes de ruissellement du champ 2.....                                                                        | 20 |
| Figure 9 : Indicateur 1 appliqué au champ 1 en 2019.....                                                                               | 21 |
| Figure 10 : Indicateur 1 appliqué au champ 2 en 2019.....                                                                              | 22 |
| Figure 11 : Indicateur 1 appliqué au champ 1 en 2020.....                                                                              | 22 |
| Figure 12 : Indicateur 1 appliqué au champ 2 en 2020.....                                                                              | 22 |
| Figure 13 : Indicateur 2 appliqué au champ 1 en 2019 (a) et 2020 (b).....                                                              | 23 |
| Figure 14 : Indicateur 2 appliqué au champ 2 en 2019 (a) et 2020 (b).....                                                              | 24 |
| Figure 15 : Schéma illustrant l'explication de l'indicateur 3.....                                                                     | 24 |
| Figure 16 : Indicateur 3 appliqué au champ 1 en 2019 (a) et 2020 (b).....                                                              | 25 |
| Figure 17 : Indicateur 3 appliqué au champ 2 en 2019 (a) et 2020 (b).....                                                              | 25 |
| Figure 18 : Schéma illustrant l'explication de l'indicateur 4.....                                                                     | 26 |
| Figure 19 : Indicateur 4 appliqué au champ 1 en 2019 (a) et 2020 (b).....                                                              | 27 |
| Figure 20 : Indicateur 4 appliqué au champ 2 en 2019 (a) et 2020 (b).....                                                              | 27 |
| Figure 21 : Indicateur 5 appliqué au champ 1 en 2019 (a) et 2020 (b).....                                                              | 28 |
| Figure 22 : Indicateur 5 appliqué au champ 2 en 2019 (a) et 2020 (b).....                                                              | 28 |
| Figure 23 : Localisation de la zone d'étude de la partie « Écologie des parcelles agricoles »                                          | 32 |
| Figure 25 : Indicateur 5 avec la période 2 en 2020.....                                                                                | 40 |
| Figure 24 : Indicateur 5 avec la période 2 en 2019.....                                                                                | 40 |
| Figure 26 : Classement du champ le plus homogène (position =1) au champ le plus hétérogène (position = 48) sur base du CV du LAI ..... | 48 |
| Figure 27 : Score de l'axe « Mare » pour les prairies .....                                                                            | 53 |
| Figure 28 : Score de l'axe « Haies et arbres » pour les prairies.....                                                                  | 54 |
| Figure 29 : Cotation finale du potentiel écologique relatif des prairies.....                                                          | 55 |
| Figure 30 : Score final du potentiel écologique relatif des prairies .....                                                             | 56 |
| Figure 31 : Effet du MFS (Mean Field Size) sur la diversité mutlitrophique dans différentes régions (Sirami et al. 2019).....          | 57 |
| Figure 32 : Score de l'axe « Bandes aménagées ».....                                                                                   | 59 |
| Figure 33 : Score de l'axe « Haies et arbres » pour les champs .....                                                                   | 60 |
| Figure 34 : Cotation finale du potentiel écologique relatif des champs .....                                                           | 61 |
| Figure 35 : Score final du potentiel écologique relatif des champs .....                                                               | 62 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Résumé de la qualité écosystémique par type de ferme (Reidsma et al. 2006) ....                               | 11 |
| Tableau 2 : Classification de systèmes de cultures : annuels et permanents (Reidsma et al. 2006) .....                    | 12 |
| Tableau 3 : Classification des systèmes d'élevage : prairies et pâturages arables (Reidsma et al. 2006) .....             | 12 |
| Tableau 4 : Résumé des axes et critères pour les prairies .....                                                           | 34 |
| Tableau 5 : Résumé des axes et critères pour les champs .....                                                             | 34 |
| Tableau 6 : Résumé des sept critères intervenant dans l'analyse multicritère .....                                        | 35 |
| Tableau 7 : Récapitulatif des cinq indicateurs .....                                                                      | 39 |
| Tableau 8 : Matrice de cooccurrence de l'indicateur 1 avec la période 1 .....                                             | 41 |
| Tableau 9 : Matrice de cooccurrence de l'indicateur 1 avec la période 2 .....                                             | 41 |
| Tableau 10 : Stabilité interannuelle des indicateurs en prenant une marge d'erreur d'une classe .....                     | 42 |
| Tableau 11 : Identification de l'hétérogénéité d'un champ sur base de facteurs .....                                      | 42 |
| Tableau 12 : Identification de l'hétérogénéité d'un champ sur base des outils BELCAM .....                                | 45 |
| Tableau 13 : Nombre d'erreurs pour chaque indicateur à chaque période .....                                               | 47 |
| Tableau 14 : Cotation du critère « Taille » des prairies .....                                                            | 50 |
| Tableau 15 : Cotation du critère « Proximité aux zones Natura 2000 » de l'axe « Mare » pour les prairies .....            | 50 |
| Tableau 16 : Cotation du critère « Proximité aux tritons crêtés » de l'axe « Mare » pour les prairies .....               | 51 |
| Tableau 17 : Cotation du critère « Proximité aux haies » de l'axe « Mare » des prairies .....                             | 51 |
| Tableau 18 : Cotation du critère « Proximité aux forêts » de l'axe « Mare » pour les prairies .....                       | 51 |
| Tableau 19 : Cotation du critère « Proximité aux arbres isolés » de l'axe « Mare » pour les prairies .....                | 52 |
| Tableau 20 : Cotation du critère « Proximité aux prairies » de l'axe « Mare » pour les prairies .....                     | 52 |
| Tableau 21 : Cotation du critère « Proximité aux zones Natura 2000 » de l'axe « Haies et arbres » pour les prairies ..... | 53 |
| Tableau 22 : Cotation du critère « Proximité aux haies » de l'axe « Haies et arbres » pour les prairies .....             | 54 |
| Tableau 23 : Cotation du critère « Proximité aux forêts » de l'axe « Haies et arbres » pour les prairies .....            | 54 |
| Tableau 24 : Cotation du critère « Proximité aux arbres isolés » de l'axe « Haies et arbres pour les prairies .....       | 54 |
| Tableau 25 : Cotation du critère « Taille » pour les champs .....                                                         | 56 |
| Tableau 26 : Cotation du critère « Proximité aux zones Natura 2000 » de l'axe « Bandes aménagées » pour les champs .....  | 57 |
| Tableau 27 : Cotation du critère « Proximité aux forêts » de l'axe « Bandes aménagées » pour les champs .....             | 57 |
| Tableau 28 : Cotation du critère « Proximité aux haies » de l'axe « Bandes aménagées » pour les champs .....              | 58 |
| Tableau 29 : Cotation du critère « Proximités aux arbres isolées » de l'axe « Bandes aménagées » pour les champs .....    | 58 |
| Tableau 30 : Cotation du critère « Proximité aux bandes MC8 » de l'axe « Bandes aménagées » pour les champs .....         | 58 |
| Tableau 31 : Cotation du critère « Proximité aux zones Natura 2000 » de l'axe « Haies et arbres » pour les champs .....   | 59 |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 32 : Cotation du critère « Proximité aux haies » de l'axe « Haies et arbres » pour les champs .....        | 59 |
| Tableau 33 : Cotation du critère « Proximité aux forêts » de l'axe « Haies et arbres » pour les champs .....       | 59 |
| Tableau 34 : Cotation du critère « Proximité aux arbres isolés » de l'axe « Haies et arbres » pour les champs..... | 60 |

## Liste des abréviations

|           |                                                     |
|-----------|-----------------------------------------------------|
| ACP       | Analyse en composantes principales                  |
| ASBL      | Association sans but lucratif                       |
| ASE       | Agence Spatiale européenne                          |
| BELCAM    | <i>BELgian Collaboration Agriculture Monitoring</i> |
| $C_i$     | <i>Cambardella index</i>                            |
| CNSW      | Carte Numérique des Sols de Wallonie                |
| CV        | Coefficient de variation                            |
| GAI       | <i>Green Area Index</i>                             |
| LAI       | <i>Leaf Area Index</i>                              |
| Lidar     | <i>Light detection and ranging</i>                  |
| MAEC      | Mesures Agro-environnementales et climatiques       |
| MFS       | <i>Mean Field Size</i>                              |
| MNT       | Modèle Numérique de Terrain                         |
| NC        | Non cartographié                                    |
| NDVI      | <i>Normalized Difference Vegetation index</i>       |
| NIR       | Near Infrared                                       |
| PAC       | Politique agricole commune                          |
| RFR       | <i>Random Forest Regression</i>                     |
| SAR       | <i>Synthetic Aperture RADAR</i>                     |
| SIGEC     | Système Intégré de Gestion et Contrôle              |
| $TO_i$    | <i>Technical Opportunity index</i>                  |
| UCLouvain | Université Catholique de Louvain                    |
| UG        | Unité de gestion                                    |



# 1 Introduction

La population et la communauté scientifique sont de plus en plus conscientes de la dégradation de l'environnement et de la responsabilité de l'homme envers cette dégradation. L'importance de préserver l'environnement est donc plus que jamais présente.

À cet égard, des outils tels que la télédétection (anglais : *remote sensing*) voient le jour, et se développent dans les années 1970 avec les premiers lancements de satellites d'observation de la Terre (Kergomard, 1990). Cet outil révolutionne le monde scientifique, en permettant d'observer et de collecter des informations et données sur l'environnement de la planète, à distance.

La télédétection, en mesurant le rayonnement émis et réfléchi d'un objet donné, détecte les variations de propriétés optiques du sol d'un lieu. Ces mesures se font à l'aide de caméras et capteurs embarqués sur des dispositifs tels que les avions et les satellites (ASE, s. d.).

Grâce à la télédétection, les scientifiques sont capables de prédire certains événements ou d'améliorer les connaissances dans certains domaines afin de trouver des solutions pour réduire les impacts anthropiques néfastes envers l'environnement. Les domaines d'application sont nombreux, on retrouve par exemple la détection de changements, de feux de forêts ou encore du recul des glaciers.

Afin d'avoir un réel impact pour améliorer l'état de santé de l'environnement, il est nécessaire d'agir en priorité sur les secteurs contribuant le plus à sa dégradation. L'agriculture est l'un des secteurs ayant le plus d'impact sur les écosystèmes (Agence européenne pour l'environnement, s. d.). Celle-ci touche la biodiversité, l'eau, les terres ou encore l'air. Pour ces raisons, l'agriculture est l'une des composantes à faire évoluer dans la perspective d'une planète plus viable. Il est évidemment nécessaire d'établir un équilibre entre agriculture moins destructrice de l'environnement et profitable, menant au concept d'agriculture durable, c'est-à-dire une agriculture écologiquement responsable, économiquement viable et socialement équitable.

La télédétection est un réel outil pour les agriculteurs. Celle-ci permet par exemple de cartographier la variabilité de la croissance de la végétation d'une parcelle agricole. Des indicateurs peuvent être déduits et permettent de faciliter l'agriculteur à optimiser l'application de ses engrais notamment, dans le but d'optimiser ses rendements, et par conséquent son revenu.

Outre l'usage de la télédétection pour l'amélioration de la gestion d'un champ, en trouvant donc une meilleure gestion des intrants et par conséquent la préservation de l'environnement, l'agriculture joue également un rôle direct dans la préservation de la biodiversité.

Certains programmes, tels que le programme agro-environnemental cofinancé par l'Union européenne et la Wallonie, visent à mettre en place des pratiques favorables à la protection de l'environnement et au maintien des paysages en zone agricole (Natagriwal, s. d.). Ce programme s'inscrit dans le deuxième pilier de la politique agricole commune (PAC). De plus, la réforme de la PAC 2023 à 2027 adoptera une politique plus verte. Une nouveauté consiste à mettre en place des « éco-régimes », soit des paiements annuels pour inciter les agriculteurs à prendre des mesures plus durables (maillage écologique, cultures plus favorables à l'environnement, etc.). Un minimum de 25 % du budget est prévu pour ces paiements (Conseil européen, 2021).

C'est dans cette optique d'aider le domaine agricole, et donc les agriculteurs, à mieux préserver l'environnement, que ce mémoire prend place.

Ce travail se compose de deux parties distinctes. La première partie « Hétérogénéité des parcelles agricoles » consiste à développer des méthodes visant à traduire l'hétérogénéité infraparcellaire à l'aide d'images Sentinel-2. La seconde partie « Écologie des parcelles agricoles » a pour but d'évaluer la qualité écologique des parcelles agricoles en fonction des éléments du paysage.

## 2 Synthèse bibliographique

Cette section consiste à dresser l'état des connaissances scientifiques concernant les méthodes utilisant la télédétection pour qualifier l'hétérogénéité infraparcellaire et les méthodes existantes pour qualifier le potentiel écologique des parcelles agricoles. Cette section commence par induire la *BELgian Collaboration Agriculture Monitoring*, ce mémoire se faisant en collaboration avec celle-ci. Ensuite, deux thèmes principaux sont abordés, la première partie portant sur les connaissances concernant l'hétérogénéité parcellaire, et la seconde section concernant l'évaluation de la qualité écologique d'une parcelle.

### 2.1 BELCAM

La *BELgian Collaboration Agriculture Monitoring* (BELCAM) est une plateforme d'aide aux agriculteurs dont l'objectif est de développer des outils afin d'améliorer les pratiques agricoles, dans la perspective d'acquérir une agriculture plus durable en Belgique. BELCAM utilise des données provenant des satellites Sentinel, permettant d'obtenir des indices de végétation et de fertilité avec une résolution de 10 m dans un intervalle de temps de cinq jours.

Plus précisément, ce projet se focalise sur trois types de cultures : le maïs, le froment d'hiver et la pomme de terre. On peut retrouver différents produits d'aide aux agriculteurs, ils sont au nombre de six actuellement ;

- 1) Prédiction du bilan d'azote annuel
- 2) Statut en azote
- 3) Surveillance de la croissance
- 4) Biomasse (T/ha) de la partie aérienne
- 5) Biomasse (T/ha) d'engrais vert
- 6) Estimation du rendement

Notons que les différents produits cités fournissent parfois des résultats pour l'ensemble du champ et d'autres au niveau du pixel. Certaines valeurs ne sont disponibles que pour une certaine période de l'année, et certains résultats ne sont accessibles que pour un ou deux types de cultures parmi les trois cités précédemment.

La plateforme affiche également la météo spécifique à chaque parcelle.

En outre, des conseils sont donnés pour la fertilisation, en accord avec les données obtenues par la plateforme.

## 2.2 L'hétérogénéité des parcelles agricoles

### 2.2.1 Notion d'hétérogénéité intraparcellaire structurelle

L'hétérogénéité intraparcellaire désigne une variabilité des caractéristiques et du potentiel du sol au sein d'une même parcelle en fonction de trois éléments de variabilité : le sol, la plante et le climat, qui entraîneront un potentiel de rendement différencié en fonction des zones de la parcelle (Spotifarm, 2021).

Une meilleure analyse de la variabilité des propriétés du sol et des plantes permettrait d'optimiser la gestion des cultures, maximisant ainsi les performances des cultures, et aidant par conséquent à préserver l'environnement (Yuzugullu et al. 2020). Les propriétés du sol importantes à surveiller sont la teneur en humidité, la texture du sol, le pH, et la matière organique du sol. Toutes ces propriétés impactent en effet les rendements agricoles. Mieux gérer l'hétérogénéité intraparcellaire permet une meilleure gestion de la fertilisation ou des doses d'engrais à apporter afin d'atteindre un meilleur rendement.

Dans ce travail sera abordée plus précisément l'hétérogénéité spatiale de nature structurelle, c'est-à-dire une hétérogénéité se répétant d'année en année. L'hétérogénéité spatiale de nature structurelle de la végétation peut être capturée par des outils de télédétection et analysée à partir de cartes pédologiques, topographiques et des axes de ruissellement.

### 2.2.2 Agriculture de précision

L'agriculture de précision désigne l'ensemble des techniques culturales basées sur l'utilisation des nouvelles technologies de mesure et de traitement de l'information spatialisée (Jullien et Huet, 2005).

L'agriculture de précision est née en 1980 et vise à optimiser les rendements et les investissements en fonction de la variabilité du terrain. Elle procède notamment par carte de préconisation, soit des cartes qui contiennent des informations concernant les pratiques à adopter concrètement au niveau du champ (Mulla, 2013).

Dans ce mémoire, une forme simplifiée d'agriculture de précision sera abordée, qui se concentre davantage sur la gestion par zone homogène.

### 2.2.3 Facteurs traduisant de l'hétérogénéité d'une parcelle

L'hétérogénéité spatiale de nature structurelle peut être analysée à l'aide de différents facteurs. Trois facteurs, et par conséquent trois outils, sont utilisés pour traduire la variabilité d'une parcelle agricole : les cartes pédologiques, les cartes topographiques, et les axes de ruissellement. Les données des points 2.2.3.1 à 2.2.3.3 proviennent du Géoportail de Wallonie.

#### 2.2.3.1 Cartes pédologiques

La Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW) est la reproduction numérique des planchettes de la Carte de Sols de Belgique qui couvre l'ensemble du territoire wallon. Les types de sols y sont définis par une combinaison comprenant cinq lettres et chiffres, correspondant à la classe texturale, l'état du drainage naturel, la présence d'un horizon diagnostique, et la nature et l'importance de la charge en éléments grossiers.

Les observations ont été réalisées par sondages à la tarière, jusqu'à 125 cm de profondeur dans la mesure du possible. En tout, plus de six millions de sondages ont été relevés, soit 1 à 2,5 observations par hectare sur l'ensemble du territoire belge. Ce niveau de détail permet donc d'obtenir des informations à l'échelle de la parcelle.

#### 2.2.3.2 Cartes topographiques

Pour obtenir une information sur le relief de la Wallonie, le Modèle Numérique de Terrain (MNT) sera employé. Le MNT est une représentation numérique de la topographie d'une zone déterminée, mais qui ne prend pas en compte les éléments au-dessus de la surface du sol, telle que les voitures ou la végétation. Cette représentation de la surface terrestre est obtenue grâce à la télédétection par *light detection and ranging* (lidar). Le MNT s'avère utile pour analyser l'hétérogénéité à l'échelle d'une parcelle, puisque ces données présentent une résolution spatiale de 1 m.

#### 2.2.3.3 Axes de ruissellement

Les cartes LIDAXES identifient le chemin préférentiel pour le ruissellement et les aires contributives à l'écoulement de l'eau. Ces axes de ruissellement sont basés sur le MNT et interviennent notamment pour l'aménagement d'ouvrages hydrauliques. La cartographie des axes permet d'identifier les zones à risque d'inondation par ruissellement concentré. La résolution de cette donnée est de 2 m, un objet d'une surface inférieure à 4 m<sup>2</sup> ne sera donc pas détecté. Encore une fois, une telle précision permet de travailler à l'échelle de la parcelle agricole.

#### 2.2.4 Indices permettant de mesurer l'hétérogénéité d'une parcelle

Afin de quantifier l'hétérogénéité d'une parcelle, des indices de végétation sont couramment utilisés dans la littérature et sont repris dans les prochaines sous-sections. Ces indices sont mesurés par des capteurs optiques embarqués sur la série de satellites Sentinel-2. Ceux-ci ont été développés dans le cadre du programme Copernicus de l'Union européenne, menée par l'Agence Spatiale Européenne (ASE, s. d.) qui a pour rôle d'observer l'environnement de la planète. Cette mission comprend une constellation de deux satellites, Sentinel-2A et Sentinel-2B. Ces satellites ont été lancés par l'Union européenne en juin 2015 et mars 2017 respectivement, pour observer l'environnement de la planète. Ils observent les terres émergées en cinq jours et fournissent des images de 10 à 60 mètres de résolution.

Pour obtenir un résultat de la variabilité au sein d'une parcelle agricole, un coefficient de variation (CV) de ces indices est couramment utilisé.

#### 2.2.4.1 *Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI

Le *Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI, ou l'indice de végétation par différence normalisée permet de mesurer la biomasse verte totale. Cet indice permet de déterminer la couverture du sol par la végétation, donc dans une certaine mesure, la santé de la végétation. Cet indice se calcule en prenant la différence normalisée de la réflectance de deux bandes (Eq.1).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

Avec

NIR = bande du proche infrarouge (B8, 0,74 – 0,94 µm pour Sentinel-2)

Red = bande du rouge (B4, 0,59 – 0,71 µm pour Sentinel-2)

La valeur du NDVI varie entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux et les valeurs positives les plus élevées aux couverts les plus denses.

#### 2.2.4.2 *Leaf Area Index*, LAI et *Green Area Index*, GAI

Le LAI mesure la surface foliaire verte par unité de surface du sol. En pratique, le LAI désigne la quantité de feuilles que recouvre un mètre carré au sol.

Le LAI permet de suivre l'évolution de la biomasse d'une parcelle. Cet indice prendra une valeur maximale lorsque la végétation du champ a atteint son maximum de développement, alors que des valeurs proches de zéro désignent un champ où la végétation est peu présente, ou lorsque les cultures sont sénescentes.

Il est important de distinguer le *Leaf Area Index* du *Green Area Index*, qui lui mesure le rapport de la surface verte des feuilles et des tiges à la surface du sol sur lequel pousse la culture (Duveiller et al., 2011).

### 2.2.5 L'hétérogénéité intraparcellaire

Ici sont présentés différents résultats d'expériences et de travaux de recherche en lien avec la première partie du sujet, soit la variabilité intraparcellaire.

#### 2.2.5.1 Lien entre télédétection et rendements agricoles

De nombreuses études ont déjà démontré que la télédétection peut permettre d'estimer les rendements agricoles (Ahamed et al. 2011, Hank et al. 2015, Lobell et al. 2015, Ren et al. 2007). Les valeurs de réflectance du NIR coïncident bien avec les cartes de rendements. La réflectance dans le proche infrarouge est un bon indicateur de la santé des tissus foliaires, de la

structure cellulaire et donc de la santé des plantes (Jones et Vaughan, 2010). Le LAI est également un bon indicateur du rendement de certaines cultures (Serrano et al, 2000), une diminution du LAI est un signe de stress chez les plantes (Baret et al, 2007).

#### 2.2.5.2 NDVI pour traduire l'hétérogénéité intraparcellaire

Tout d'abord, trois auteurs confirment l'utilisation du NDVI pour caractériser l'hétérogénéité intraparcellaire. Le premier, Dirick (2017) montre une corrélation positive entre le NDVI et les rendements agricoles. Il ajoute à cela que l'électroconductivité est également une bonne mesure pour caractériser la variabilité des propriétés du sol. Plus précisément, il semblerait que le phosphore soit corrélé positivement au NDVI, et d'autres résultats indiquent que le potassium et le pH seraient également liés à l'indice de végétation. Tordoroff (2020) confirme les résultats de Dirick puisque celui-ci caractérise la variabilité intraparcellaire à l'aide de séries temporelles d'images en utilisant le NDVI pour définir l'hétérogénéité. Il ajoute à cela que l'indice de végétation est également lié à la topographie. Celui-ci prend des valeurs plus basses dans les parties de la parcelle ayant une altitude moindre (conséquence du stress hydrique, car sa réserve utile est plus faible). Toujours en accord avec ce que le premier auteur a décrit, Tordoroff affirme que l'estimation du rendement agricole par le NDVI est une bonne méthode. De Rudnicki (2009) évoque que, bien que la conductivité et la résistivité du sol sont des bons indicateurs de l'hétérogénéité d'un champ, le NDVI reste la manière la plus simple de l'évaluer, puisque cet indice s'obtient par voie aérienne et ne nécessite aucune intervention locale. Il est à noter que ces expériences ont été réalisées sur des cultures de vignes. De plus, ces travaux démontrent que le NDVI est relié aux caractéristiques biophysiques de la plante et est en lien direct avec la vigueur et la taille des fruits (dans ce cas-ci, le poids des grappes et des baies est plus conséquent dans des zones à fortes valeurs de NDVI).

Cependant, Dirick relève que la carte numérique des sols ne permet pas de tirer de conclusion quant à la variabilité intraparcellaire, étant donné que les sols étudiés sont fort homogènes. Toutefois, il est à noter que ces expériences ont été réalisées pour uniquement trois types de cultures : les pois, les haricots et les épinards.

Leroux (2019) a effectué un résumé de plusieurs articles scientifiques décrivant différents indicateurs permettant de mesurer la variabilité à l'échelle d'un champ, tels que le *Cambardella index* ( $C_i$ ) ou le *Technical Opportunity index* ( $TO_i$ ). Cependant, la manière la plus simple d'évaluer l'hétérogénéité d'un champ est d'utiliser le CV, qui est le rapport entre la moyenne  $\mu$  et la déviation standard  $\sigma$ .

Ces travaux indiquent que différents facteurs conditionnent l'hétérogénéité d'une parcelle. Pour simplifier, trois facteurs seront utilisés dans ce mémoire.

Enfin, les auteurs de ces travaux s'accordent sur le fait que le NDVI semble être un indice efficace pour évaluer l'hétérogénéité d'un champ et le CV est la manière la plus simple de le

calculer. Toutefois, d'autres indices existent et peuvent aussi servir à évaluer la variation intraparcellaire.

#### 2.2.5.3 Méthodes de classification pour traduire l'hétérogénéité intraparcellaire

Une étude de Yuzurgullu et al. (2020) a pour but de prédire la distribution spatiale de certaines propriétés du sol soit le pH, la matière organique et la teneur en argile, en combinant l'usage des images Sentinel-1 et 2. Les images Sentinel-1 permettent d'avoir une information sur l'humidité du sol ou encore sur sa rugosité. Les images multispectrales fournies par Sentinel-2 fournissent des informations quant à la structure et la composition du sol. Dans un premier temps, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) est utilisée pour réduire la dimensionnalité temporelle des images S1 et S2. Les indices optiques et *Synthetic Aperture Radar*, SAR (radar à bord de Sentinel-1) sont ensuite combinés pour former une image d'indice Rouge Vert Bleu (RVB) : les canaux rouges et verts sont utilisés pour les indices optiques et le canal bleu pour l'indice SAR. Ensuite, l'approche par clustering permet de regrouper les données qui ont des propriétés similaires. L'étude de Santaga et al. (2021) utilise également des bandes des images Sentinel-2 pour ensuite utiliser l'ACP entre plusieurs bandes spectrales et par la suite l'analyse par cluster. L'objectif de Santaga et al. est de déterminer les lieux d'échantillonnage. Yuzurgullu et al. utilise également l'outil *Random Forest Regression* (RFR), qui se base sur un grand nombre d'arbres de décision pour prédire les paramètres d'un pixel (pH, matière organique et argile), notamment à partir d'échantillonnages effectués lors de campagnes.

Un algorithme de segmentation automatique utilise des données satellitaires multispectrales afin de cartographier les champs en zones de même rendement attendu. La division des champs en zones de gestion se fait notamment grâce aux NDVI et NIR (Georgi et al. 2018).

### 2.3 La qualité écologique des parcelles agricoles

Il n'existe actuellement pas d'indicateur permettant de caractériser la qualité écologique à l'échelle d'une parcelle agricole, mêlant à la fois les champs et les prairies. Toutefois, il est possible de quantifier l'effort que l'agriculteur fait sur ses terres quant à la préservation de l'environnement grâce aux méthodes Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC). De plus, en ce qui concerne les prairies, il est également possible de caractériser la qualité écologique d'une prairie grâce aux unités de gestion Natura 2000. Enfin, des indicateurs utilisés pour tenter de qualifier la qualité écologique d'un champ (ou bord de champ), d'une prairie ou encore d'une exploitation agricole existent ou sont en cours de validation/élaboration. Tout cela est présenté dans cette section.

Les informations des deux prochaines sections proviennent de l'ASBL Natagriwal.

#### 2.3.1 Méthodes Agro-Environnementales et Climatiques, MAEC

Les MAEC font partie du deuxième pilier de la PAC. Ce programme financé par l'Union européenne et la Wallonie consiste à mettre en place des pratiques en vue de protéger



l'environnement. Le but est d'accorder une aide financière aux agriculteurs qui, en échange, s'engagent volontairement à mettre en place des pratiques visant une agriculture plus durable, comme l'installation de bandes aménagées, de mares, de prairies de haute valeur biologique, etc.

Les MAEC sont divisées en cinq axes :

- Axe « éléments du maillage écologique »
- Axe « prairies »
- Axe « cultures »
- Axe « approche globale à l'échelle de l'exploitation »
- Axe « animaux »

Chaque méthode possède une fiche descriptive, comprenant notamment un cahier des charges à respecter et le montant des aides que la pratique rapporte.

Ces MAEC peuvent donc servir à l'élaboration d'indicateurs sur la qualité écologique d'une parcelle. Par exemple, elles permettent, dans une certaine mesure, de classer les types de prairies selon leur qualité écologique. Une prairie dite « naturelle » aura une plus haute valeur biologique qu'une prairie sans contrat par exemple. Cependant, elle aura une valeur moindre qu'une prairie qualifiée de « haute valeur biologique ». Ces deux types de prairies étant cartographiées, elles peuvent être localisées.

### 2.3.2 Natura 2000

Natura 2000 est le plus grand réseau de sites protégés au monde. Ce réseau vise à conserver les espèces et habitats menacés en Europe. Il a été créé par l'Union européenne pour lutter contre le déclin de la biodiversité, dû notamment à la destruction et la fragmentation des habitats, aux espèces exotiques envahissantes, à la surexploitation des ressources naturelles, etc.

La Wallonie possède son propre réseau Natura 2000 qui comprend 240 sites et couvre environ 13% du territoire. Chaque site est découpé en « unité de gestion » (UG) (il existe au total 14 UG). Ces UG sont cartographiées sur base des habitats et espèces que le site comprend afin qu'au sein d'une même UG, la gestion y soit homogène. L'UG 1 est pour les milieux aquatiques, les UG 2 à 5 pour les milieux ouverts (prairies), les UG 6 à 10 pour les milieux fermés (forêts). L'UG 11 est pour les terres de culture et éléments anthropiques, et les trois dernières unités sont des unités temporaires.

Les UG permettent donc d'évaluer la qualité écologique des prairies et pourront également être utilisées pour la création d'un indicateur de qualité écologique. À titre d'illustration, une prairie en UG 2 (« Milieu ouvert prioritaire ») est un milieu de grand intérêt pour la biodiversité. Une prairie en UG 2 aura donc une valeur biologique plus élevée qu'une prairie en UG 5 (« Prairie de liaison écologique ») qui n'est pas un habitat Natura 2000, mais plutôt une zone qui sert de liaison entre des zones de plus grandes valeurs écologiques.

### 2.3.3 Indicateur des bordures de champs

Un indicateur de la qualité écologique des bordures de champs se base sur l'observation d'espèces floristiques indicatrices faciles à déterminer (donc accessible également aux non-botanistes). Ils partent du principe que la flore des bordures de champs représente bien l'état écologique, les pratiques d'entretien, ainsi que les pratiques agricoles. Les bordures de champs sont classées en quatre types : les bordures de champs de « type forestier », de « type prairial », de « type forestier-prairial » et de « type adventice », possédant chacune leurs caractéristiques. Grâce au triangle sur la Figure 1, on peut classer les bordures selon les quatre types. Cet outil a pour but de conseiller les agriculteurs à améliorer la qualité écologique de leur bordure. L'outil est en cours de validation à l'heure actuelle.

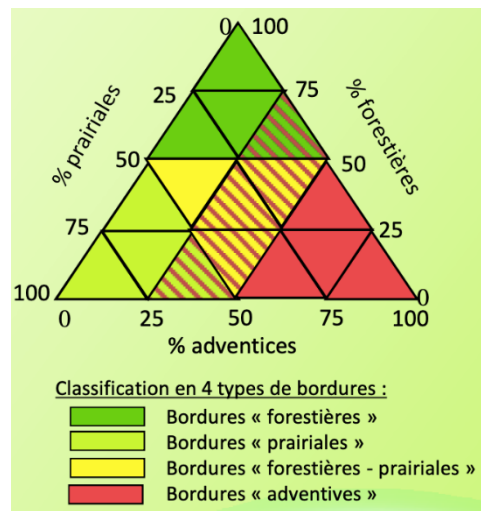


Figure 1 : Classification des types de bordures de champ (Lebris et al. 2010)

### 2.3.4 Indicateur des prairies

Un indicateur permettant d'évaluer la qualité écologique des prairies est obtenu par une méthode simple, qui vise à observer dans chaque tiers de la parcelle si au moins quatre plantes indicatrices s'y trouvent (Mestelan et De Sainte Marie, 2007). Ces plantes sont des fleurs facilement reconnaissables pour permettre à tout un chacun de réaliser l'expérience. Si c'est le cas, il y a une garantie que la prairie est en bon état de conservation au sens de Natura 2000.

### 2.3.5 Indicateur à l'échelle de l'exploitation agricole

Une liste d'indicateurs permettant d'évaluer l'impact des pratiques agricoles et non agricoles sur l'environnement, à l'échelle d'une exploitation, est en cours d'élaboration (Natagriwal, 2022). Ces indicateurs permettent de faire l'état des lieux d'une exploitation agricole afin de voir l'effort que produit l'agriculteur pour l'environnement.

Les indicateurs sont par exemple : le maillage écologique, la taille des parcelles, le travail du sol, ou encore l'utilisation des conseils phytosanitaires. Au total, 12 indicateurs seront créés. Certains peuvent être évalués à l'aide de bases de données (Natura 2000, MAEC, ...) alors que d'autres se basent sur un questionnaire auprès de l'agriculteur.

Ces différents indicateurs sont exprimés sur base d'une unité commune de surface. Ensuite, chaque indicateur est multiplié par un facteur en fonction du poids attribué à chaque indicateur. Un poids sera plus élevé lorsqu'il a été prouvé scientifiquement que les variables mesurées par l'indicateur ont un effet sur la biodiversité, alors qu'un autre indicateur sans preuve ou avec des preuves seulement pour certains taxons aura un poids plus faible.

Ensuite, les scores des indicateurs sont transformés en une appréciation, allant de très favorable à très défavorable.

Enfin, les indicateurs sont hiérarchisés de la manière suivante :

1. Maillage écologique (haies, arbres, bandes fleuries ...)
2. Taille des parcelles, cultures à bas intrants chimiques et agriculture biologique, prairies naturelles
3. Travail du sol, charge en bétail
4. Utilisation des conseils phytosanitaires, précautions contre le parasitisme
5. Autres

Cette hiérarchisation permet de faciliter la communication auprès de l'exploitant. Les résultats sont transmis à l'agriculteur via une pyramide qui reprend l'appréciation des indicateurs classés selon la hiérarchisation décrite précédemment et adjointe d'un rapport expliquant les indicateurs et les actions à mettre en place pour améliorer les différents scores.

Quelques indicateurs tels que la taille des parcelles peuvent s'avérer utiles pour la suite du travail.

### 2.3.6 Évaluation de la biodiversité agricole

Une idée pour tenter d'évaluer la biodiversité associée dans les paysages agricoles est d'attribuer une valeur à la qualité écologique de chaque type d'exploitation (Tableau 1).

*Tableau 1 : Résumé de la qualité écosystémique par type de ferme (Reidsma et al. 2006)*

| Ecosystem quality <sup>a</sup> (%) | Farm types                          | Production systems                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 100                                | No production                       | Primary vegetation                                                                                                                                                                                           |
| 40                                 | Extensive grassland management      | Medium to high cattle density on natural grassland                                                                                                                                                           |
| 35                                 | Extensive organic farming           | Low-External-Input and Sustainable Agriculture (LEISA), permaculture                                                                                                                                         |
| 25                                 | Extensive farming                   | Traditional farming; extensive farming; Low-External-Input Agriculture (LEIA)                                                                                                                                |
| 20                                 | Intensive organic farming           | Rainfed organic farming                                                                                                                                                                                      |
| 20                                 | Intensive grassland management      | Grassland production based on ploughing, reseeding and fertilization                                                                                                                                         |
| 15                                 | Highly intensive organic farming    | Organic farming in developed countries (where conventional agriculture is based on long-term soil and water investments)                                                                                     |
| 10                                 | Intensive production systems        | Intensive agriculture; integrated agriculture; High-External-Input Agriculture (HEIA); conventional agriculture                                                                                              |
| 5                                  | Highly intensive production systems | Irrigation based agriculture; integrated agriculture; drainage based agriculture; additional soil levelling practices; regional specialization; specialization of production at the farm and landscape level |

<sup>a</sup> Expressed as percentage of the original pristine situation (see text for further explanation).

Ces valeurs sont attribuées sur base des relations dose-effet entre des facteurs de pression et la biodiversité si celle-ci n'était pas perturbée. En clair, une valeur de 100 % indique une zone non perturbée, alors qu'une valeur de 0 % indique une zone complètement détruite sans espèce sauvage (Reidsma et al. 2006).

Ce travail présente également une classification de la qualité écologique attribuée aux terres cultivées (Tableau 2) et aux systèmes d'élevage (Tableau 3).

Tableau 2 : Classification de systèmes de cultures : annuels et permanents (Reidsma et al. 2006)

|                          | Criterion organic | Criterion irrigation | Criterion intensity <sup>a</sup> (€/ha) | Class <sup>b</sup> | Ecosystem quality (%) |
|--------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Irrigated                | Non-organic       | Irrigation           |                                         | 17 (37)            | 5                     |
| Highly intensive         | Non-organic       | No irrigation        | >250                                    | 16 (36)            | 5                     |
| Intensive                | Non-organic       | No irrigation        | 80–250                                  | 15 (35)            | 10                    |
| Extensive                | Non-organic       | No irrigation        | <80                                     | 11 (31)            | 25                    |
| Highly intensive organic | Organic           | Irrigation OR        | >250                                    | 14 (34)            | 15                    |
| Intensive organic        | Organic           | No irrigation        | 80–250                                  | 13 (33)            | 20                    |
| Extensive organic        | Organic           | No irrigation        | <80                                     | 12 (32)            | 35                    |

<sup>a</sup> Intensity = costs of: fertilizer and soil improvers, crop protection products and feeding stuffs for grazing livestock.

<sup>b</sup> Classes without parentheses are for cropping systems, with parentheses for permanent cropping systems; in Figs. 2 and 3 farm types are indicated with these class numbers.

Cette classification sur les systèmes de cultures prend en compte : le coût des engrais, des amendements, les produits de protections de cultures, si l'agriculture est de type biologique ou non, etc.

La qualité écologique attribuée aux systèmes d'élevage prend notamment en compte la densité du bétail.

Tableau 3 : Classification des systèmes d'élevage : prairies et pâturages arables (Reidsma et al. 2006)

|                                           | Criterion grassland                       | Criterion intensity                             | Class <sup>a</sup> | Ecosystem quality   |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| Natural grassland                         | Rough grassland in UAA <sup>b</sup> > 66% | < 0.3 LU/ha <sup>c</sup>                        | 41                 | 100%                |
| Extensive pasture                         | Permanent + rough grassland in UAA > 66%  | < 1.0 LU/ha; input costs <sup>d</sup> < 80 €/ha | 42                 | 40%                 |
| Intensive pasture                         | Grassland in UAA > 66%                    | < 2.0 LU/ha; input costs < 250 €/ha             | 44                 | 20%                 |
| Highly intensive pasture                  | Grassland in UAA > 66%                    | > 2.0 LU/ha OR input costs > 250 €/ha           | 45                 | 20%                 |
| Extensive arable grazing livestock        | Grassland in UAA < 66%                    | < 1.0 LU/ha; input costs < 80 €/ha              | 43                 | 32.5% = (40 + 25)/2 |
| Intensive arable grazing livestock        | Grassland in UAA < 66%                    | Input costs 80–250 €/ha                         | 46                 | 15% = (20 + 10)/2   |
| Highly intensive arable grazing livestock | Grassland in UAA < 66%                    | Input costs > 250 €/ha                          | 47                 | 15% = (20 + 10)/2   |

<sup>a</sup> In Figs. 2 and 3 farm types are indicated with these class numbers.

<sup>b</sup> UAA = Utilized Agricultural Area.

<sup>c</sup> LU/ha = livestock units/hectare.

<sup>d</sup> Input costs = costs of: fertilizer and soil improvers, crop protection products and feeding stuffs for grazing livestock.

Ce travail comprend donc quelques classifications intéressantes à l'élaboration d'indicateurs de la qualité écologique d'une parcelle agricole

### 3 Objectif

L'objectif général de ce mémoire est de développer deux indicateurs dérivés d'imagerie satellite, pertinents pour les agriculteurs, et qui pourraient être généralisés à l'échelle de la Wallonie via la plateforme BELCAM. Dans l'optique d'atteindre ce premier objectif, deux objectifs secondaires en découlent.

Dans un premier temps, la cible est de développer un indicateur de l'hétérogénéité des terres de cultures (à l'exclusion des prairies permanentes et cultures pérennes), qui, le cas échéant, permettra d'établir un zonage intraparcellaire. Dans cette section, le but est de comparer plusieurs indicateurs créés sur base de statistiques du LAI afin de voir la capacité de chaque indicateur à qualifier l'hétérogénéité d'un champ. Deux périodes seront testées durant les années 2019 et 2020.

Dans un second temps, le but est de caractériser le potentiel écologique d'une parcelle agricole en s'appuyant sur les éléments qui la constituent, et en déterminer sa position dans le maillage écologique. En d'autres termes, de situer le rôle de la parcelle dans la connectivité fonctionnelle pour la biodiversité à l'échelle du paysage. Plus précisément, dans cette seconde partie, l'objectif est d'évaluer le potentiel écologique relatif d'une prairie ou d'un champ pour l'installation d'une mesure agroenvironnementale et climatique, sur base de l'habitat et la distance de dispersion d'une espèce choisie.

## 4 Matériel et méthode

La structure de ce chapitre sera divisée en deux parties. La première partie concerne l'hétérogénéité des parcelles agricoles et la seconde l'écologie des parcelles agricoles.

### 4.1 Hétérogénéité des parcelles agricoles

Pour rappel, l'objectif de cette partie est de comparer cinq indicateurs statistiques basés sur le LAI afin de voir la capacité de chaque indicateur à qualifier l'hétérogénéité d'un champ.

La méthodologie comporte plusieurs parties qui s'articulent de la manière suivante (Figure 2).

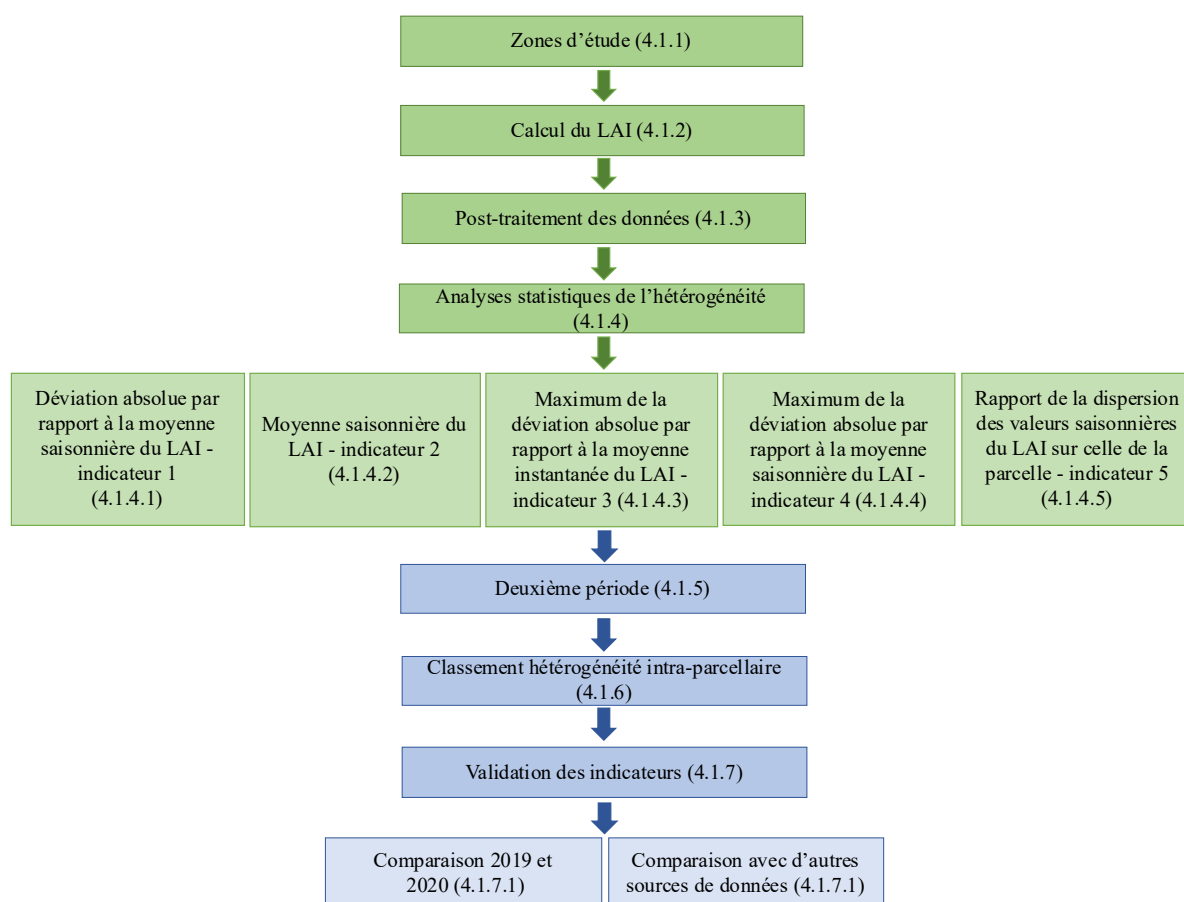


Figure 2 : Organigramme représentant les étapes suivies dans la méthodologie

Tout d'abord, la partie « Zones d'étude » décrit les deux zones étudiées, la première zone sert pour la calibration de la méthode. La seconde sert à appliquer la méthode sur une zone plus étendue et à voir l'effet qu'une culture pourrait avoir sur les différents indicateurs. La section « Calcul du LAI » décrit la chaîne de traitement des images satellites utilisées. Ensuite, la partie « Post-traitement des données » explique le choix des parcelles, de la période, etc. Par après, les cinq indicateurs, créés sur base de statistiques du LAI, seront décrits. Dans cette même partie, sur base des facteurs qui engendrent cette variabilité intraparcellaire (pédologie, topographie, etc.), les résultats de ces indicateurs seront discutés.

Les étapes en vert sont celles suivies pour les parcelles de la première zone d'étude. Pour les parcelles de la seconde zone d'étude, les étapes en vert et en bleu sont suivies.

La partie « Deuxième période » explique la seconde période étudiée dans ce travail. L'étape « Classement de l'hétérogénéité intraparcellaire » décrit comment les champs ont été classés selon leur niveau d'hétérogénéité. Enfin, les résultats entre les deux années seront comparés et sur base d'autres sources de données.

Pour créer les indicateurs et automatiser l'ensemble de la méthodologie, c'est le logiciel Visual Studio utilisant le langage Python avec l'extension Jupyter Notebook, qui est employé. Le logiciel QGIS a servi à effectuer certaines opérations, pour visualiser les résultats ainsi que pour générer la majorité des cartes. Certaines cartes ont été créées par le logiciel ArcMap 10.8. La partie « Comparaison 2019 et 2020 » a été réalisée à l'aide d'Excel.

#### 4.1.1 Zones d'étude

##### 4.1.1.1 Localisation géographique

La première partie de ce mémoire se fait en collaboration avec la plateforme BELCAM qui fournit des données à l'échelle de la Wallonie, où se situe donc la zone d'étude. La calibration de la méthodologie se fait sur les parcelles de la ferme universitaire de l'UCLouvain (Figure 3).

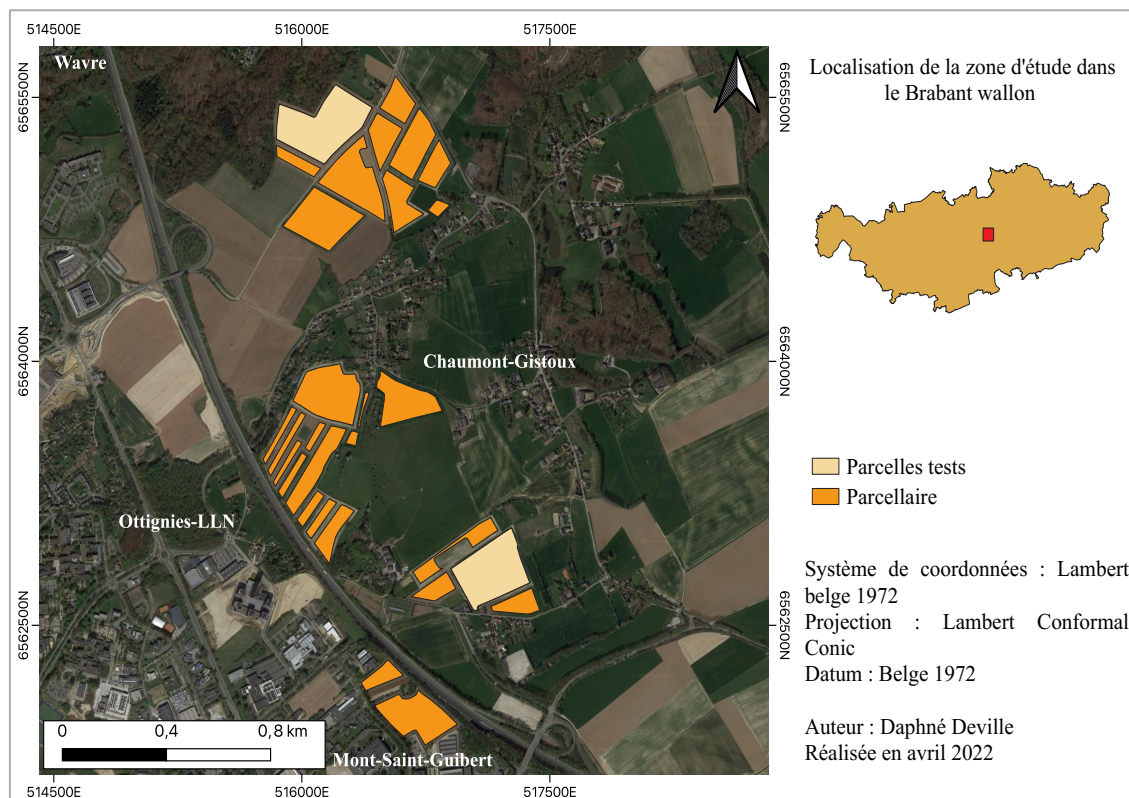


Figure 3 : Localisation de la zone d'étude utilisée pour la calibration de la méthode

Tout d'abord, des statistiques ont été extraites, dont le coefficient de variation sur 26 parcelles de la ferme (en orange sur la Figure 3). Ensuite, deux parcelles qui ont été validées comme étant



hétérogènes par les agriculteurs (en beige sur la Figure 3) ont été utilisées afin d'appliquer les indicateurs sur une zone plus restreinte dans un premier temps.

Ensuite, afin d'appliquer les indicateurs sur une zone plus large, plus de parcelles ont été sélectionnées. La seconde zone d'étude choisie est une région agricole de Wallonie qui se situe dans la région de la Hesbaye et s'étend sur une superficie de 156,25 km<sup>2</sup>. Elle se situe au cœur de la Belgique dans la province du Brabant wallon et comprend huit communes : Orp-Jauche, Ramillies, Jodoigne, Hannut, Wasseiges, Éghezée, Lincent et Hélécinne (Figure 4).

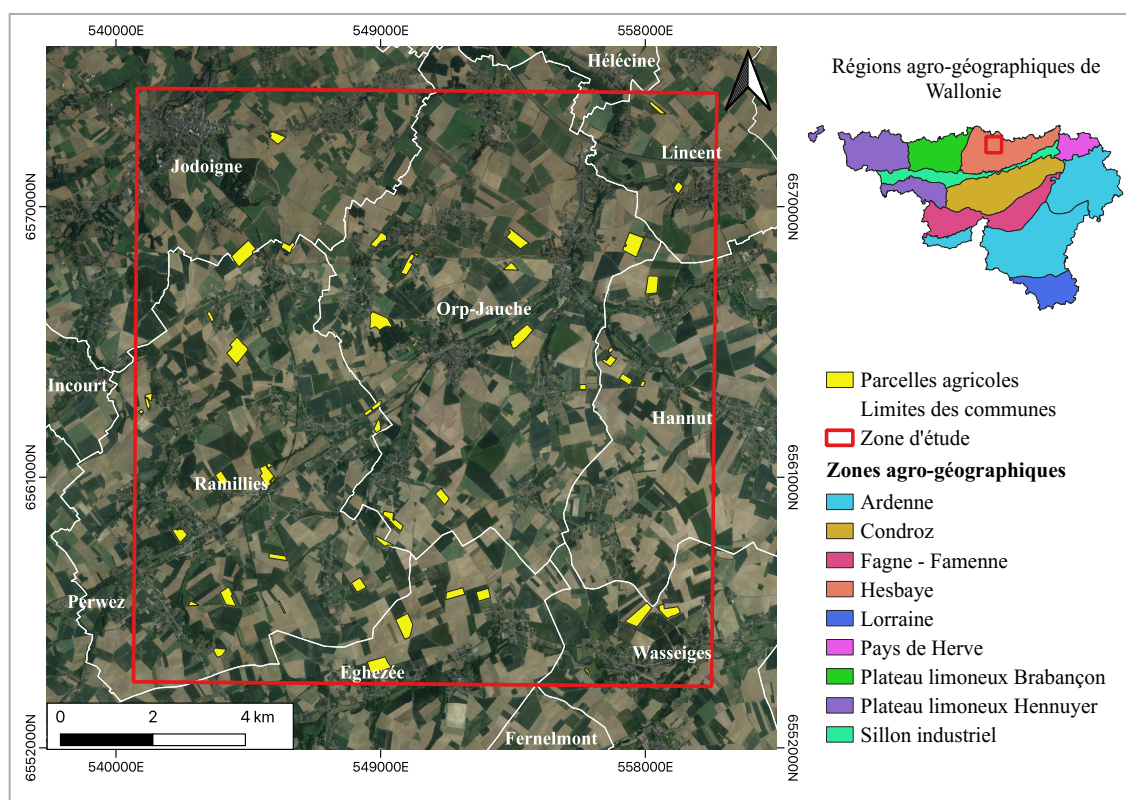


Figure 4 : Localisation de la seconde zone d'étude

Dans cette zone, 48 parcelles issues du parcellaire agricole anonyme du SIGEC ont été sélectionnées. Cette couche de données référence chaque année les cultures de chaque parcelle agricole, elle provient du Géoportail de Wallonie. Pour rappel, le but de cette zone d'étude est notamment d'observer l'effet qu'un type de culture peut avoir sur les indicateurs. Les parcelles ont donc été choisies sur base d'une même rotation culturale sur une durée de trois années consécutives (2018 à 2020). Cette rotation est la suivante : pomme de terre en 2018, froment d'hiver en 2019 et betterave sucrière en 2020.

Dans les prochains points (4.1.1.2 à 4.1.1.4), l'analyse se fait sur la seconde zone d'étude puisque la première zone sert pour la calibration de la méthode.

#### 4.1.1.2 Type de sols

Un facteur qui influence fortement l'hétérogénéité d'une parcelle est sa pédologie. Les différentes parcelles choisies se situent en région limoneuse (Figure 5).



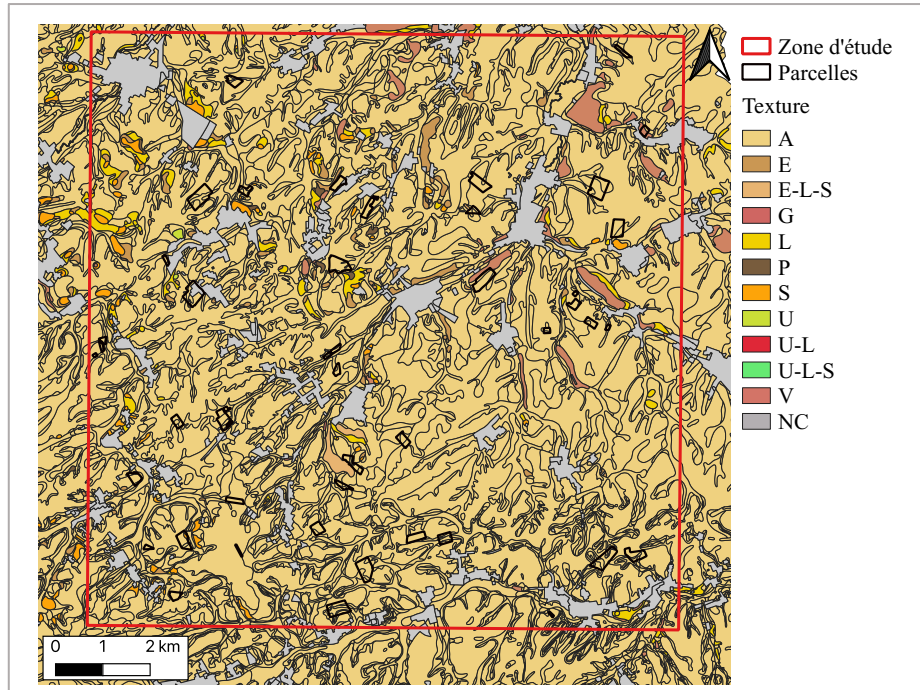


Figure 5 : Textures du sol de la seconde zone d'étude (CNSW, Géoportail de Wallonie)

Dans cette zone on retrouve en grande majorité une texture limoneuse (A). On peut également retrouver d'autres textures de sol en de plus faibles proportions, telles que sable limoneux (S), limon sableux (L), argile légère (E) ou encore limon peu caillouteux (G). Il y a également plusieurs zones non cartographiées (NC).

En ce qui concerne la géologie, la Hesbaye repose essentiellement sur une roche calcaire et est recouverte d'une couche de loess (limon éolien d'origine glaciaire).

Deux autres facteurs influençant l'hétérogénéité intraparcellaire sont la topographie, et les axes de ruissellement (Figure 6).

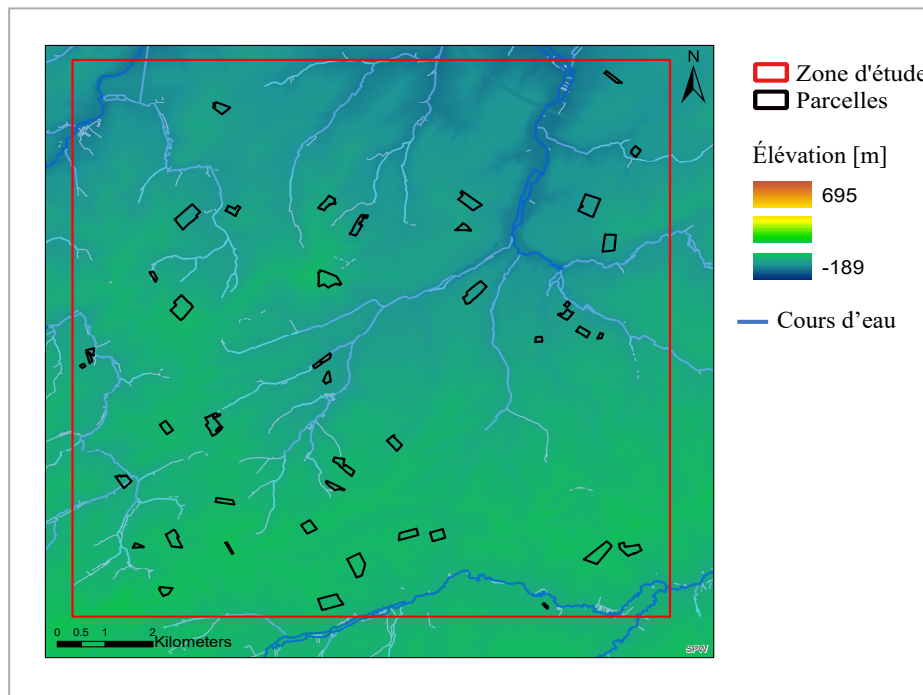


Figure 6 : Topographie et cours d'eau de la seconde zone d'étude (MNT 2013-2014 et LIDAXES, Géoportail de Wallonie)

Trois cours d'eau passent dans la zone d'étude : la Petite Gette (commune de Orp-Jauche), la Grande Gette (commune de Jodoigne) et la Mehaigne (commune de Wasseiges).

#### 4.1.2 Calcul du LAI

Les images du LAI utilisées dans ce travail ont été obtenues via la chaîne de traitement BELCAM qui utilise l'algorithme BVnet (développé par Weiss et Baret, 1999)

Pour le traitement atmosphérique et la détection de nuages, c'est la chaîne MAJA qui a été utilisée (Rouquié et al. 2017).

Le LAI a été préféré au NDVI car ce dernier manque de sensibilité pour des végétations denses. En effet, lorsque la végétation analysée atteint un certain stade de croissance, l'augmentation du nombre de feuilles dans la canopée sera visible avec le LAI, mais pas avec le NDVI (Duchemin et al. 2006).

Notons que les images sont identifiées comme représentant le LAI, mais c'est en réalité des images GAI.

#### 4.1.3 Post-traitement des données

##### 4.1.3.1 Nettoyage des données

Afin de calculer le coefficient de variation du LAI sur les parcelles de la ferme universitaire, un tri de ces parcelles a dû être effectué. Tout d'abord, les prairies permanentes ont été retirées puisque le but est de chercher l'hétérogénéité d'un champ et non d'une prairie (les prairies temporaires ont, elles, été conservées). Ensuite, les parcelles d'essai ont été écartées, car elles ne sont pas représentatives d'un champ traditionnel puisqu'elles sont utilisées pour des

expérimentations. Enfin, une zone tampon de -1 pixel, soit -10 mètres a été créée pour chaque parcelle, afin de supprimer l'effet du bord d'un champ (haies, bandes aménagées, etc.) sur les différents résultats.

Après l'application des différents indicateurs, il a été observé que l'année 2021 présente une allure différente des années 2019 et 2020. En se penchant sur les images de juillet 2021, il en ressort que les inondations ont pu impacter les résultats. L'année 2021 sera donc écartée pour éviter d'impacter les tests des différents indicateurs. De plus, les images contenant les valeurs de LAI ne sont disponibles qu'à partir de 2019. Pour ces deux raisons, les différentes étapes ont donc été réalisées uniquement sur deux années : 2019 et 2020.

Concernant le traitement des images, pour chaque parcelle à chaque date, les images contenant uniquement 100 % de leurs pixels ont été gardées, puisqu'il convient de chercher l'hétérogénéité de l'entièreté d'un champ, pas seulement sur une partie. De plus, les valeurs négatives de LAI ont été retirées étant donné que cet indice ne prendra jamais de valeur négative (supposant une erreur de masque de nuage).

#### 4.1.3.2 Choix de la période

Tout d'abord, en regardant la variation du LAI des 26 parcelles sur une année. Il apparaît que le LAI augmente à partir du mois de mars et redescend à partir du mois d'octobre.

En prenant les valeurs de LAI des 26 parcelles de la ferme, il est possible de calculer le coefficient de variation (CV) de cet indice pour chaque champ à chaque date. Le CV est le rapport entre l'écart-type ( $\sigma$ ) et la moyenne ( $\mu$ ) des valeurs LAI des pixels de la parcelle (Éq.2).

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2)$$

Plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande et donc au plus l'hétérogénéité est importante. Selon ce qui a été trouvé dans la littérature, cette statistique semble être un bon indicateur d'hétérogénéité.

En regardant l'évolution du CV du LAI, donc de l'hétérogénéité durant une année sur les 26 parcelles de la ferme universitaire, il est difficile de déterminer à quel moment l'hétérogénéité est la plus marquée sur base de cet échantillon. Il semblerait que le CV prenne des valeurs plus élevées autour du mois de mai, mais cette tendance n'est pas marquée.

Pour l'application des indicateurs, dans un premier temps, il a donc été choisi de regarder l'hétérogénéité des parcelles durant la période de végétation, soit lorsque le LAI est élevé. Cela correspond aux mois de mars à octobre. Cette période inclut la période de haute végétation de la majorité des types de cultures.

#### 4.1.4 Analyses statistiques de l'hétérogénéité

Dans cette partie, cinq indicateurs seront appliqués sur deux parcelles hétérogènes de la ferme universitaire durant les années 2019 et 2020. Il a été choisi de travailler dans un premier temps sur deux parcelles afin d'appliquer tous les indicateurs sur une zone plus restreinte. Ces deux parcelles ont été validées hétérogènes par les agriculteurs. Les cinq indicateurs sont calculés sur base de statistiques du LAI.

Pour chaque indicateur, pour les deux parcelles sur les deux années, des cartes de ces indicateurs ont été dressées et une comparaison avec la pédologie, les axes de ruissellement et le MNT, sera effectuée.

Pour chaque indicateur, les valeurs sont classées selon les quartiles des deux champs, les catégories de valeurs sont donc les mêmes pour les deux champs. Toutefois, afin de mieux voir les nuances d'hétérogénéité du champ, un pixel qui prendra une valeur comprise entre deux quartiles prendra une couleur intermédiaire aux couleurs attribuées aux bornes.

Tout d'abord, ci-dessous sont dressés la topographie et les axes de ruissellement respectifs à chaque parcelle (Figure 7 pour le champ n°1 et Figure 8 pour le champ n°2).

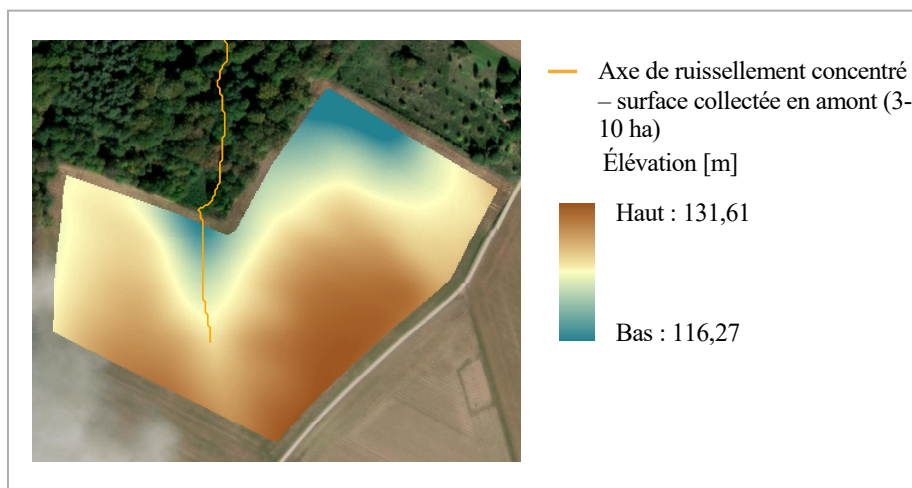


Figure 7 : Topographie et axes de ruissellement du champ 1

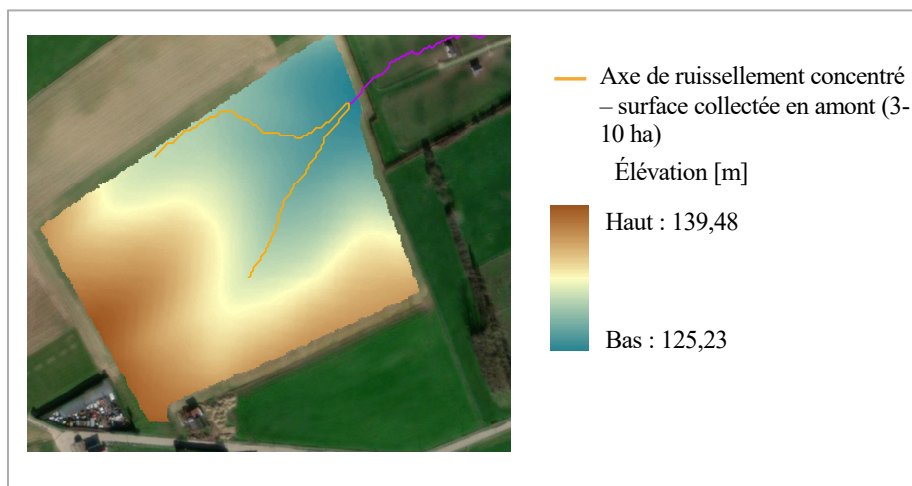


Figure 8 : Topographie et axes de ruissellement du champ 2

#### 4.1.4.1 Déviation absolue par rapport à la moyenne saisonnière du LAI (indicateur 1)

Le premier indicateur consiste à prendre pour chaque pixel la moyenne du LAI sur la saison culturale ( $\bar{\rho}_1$ ) et y soustraire la moyenne du LAI de la parcelle sur la saison culturale ( $\overline{\rho_{\text{parcelle}}}$ ).

En mathématiques on peut résumer la valeur de chaque pixel par l'équation suivante :

$$|\bar{\rho}_1 - \overline{\rho_{\text{parcelle}}}| \quad (3)$$

Avec :

- $\bar{\rho}_1 = \frac{\sum_{t=1}^n \rho_{i,t}}{n}$  soit  $\rho_{i,t}$  la réflectance du pixel  $i$ ,  $t$ , les dates avec  $t = 1$ , la première date, et  $n$ , le nombre de dates.
- $\overline{\rho_{\text{parcelle}}} = \frac{\sum_{t=1}^n \sum_{p=1}^r \rho_{i,p}}{r \cdot n}$  soit  $p$  les pixels de la parcelle et  $r$  = le nombre de pixels d'une parcelle.

En faisant cette différence, on regarde pour chaque pixel à quel point son comportement moyen s'écarte du comportement moyen des pixels du reste de la parcelle sur l'ensemble de la saison. Au plus un pixel prend une valeur élevée, au plus son comportement s'éloigne de celui du reste de la parcelle (Figures 9 à 12).

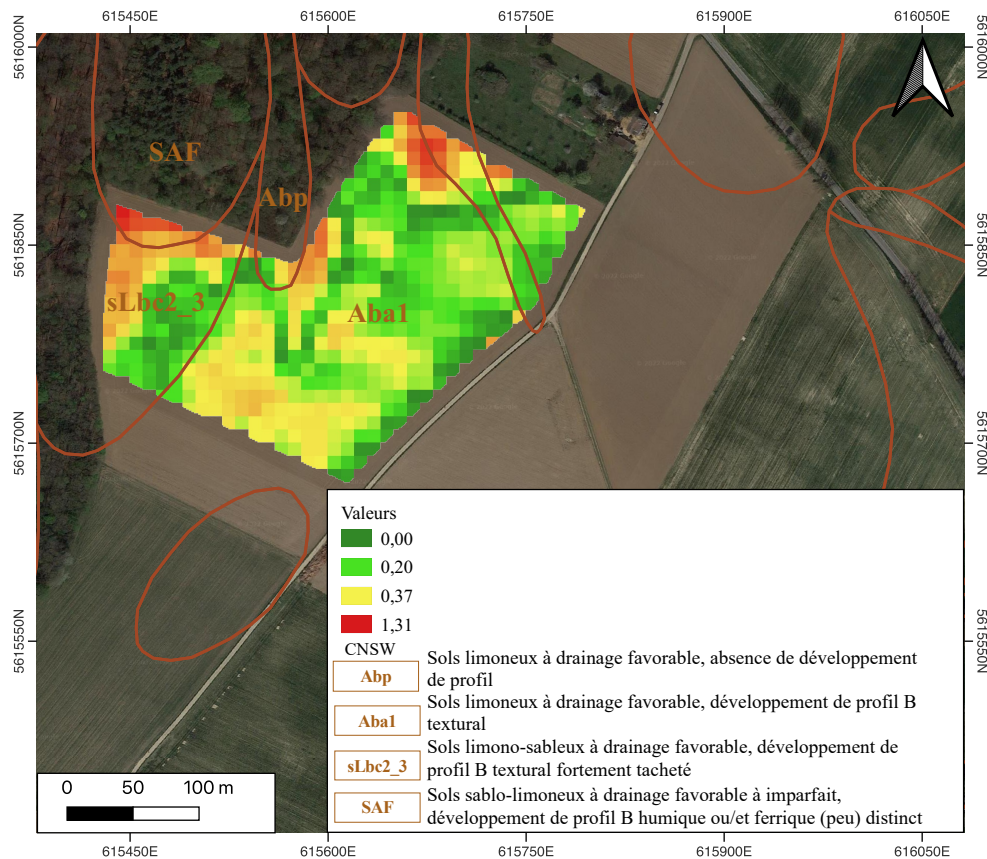


Figure 9 : Indicateur 1 appliqué au champ 1 en 2019



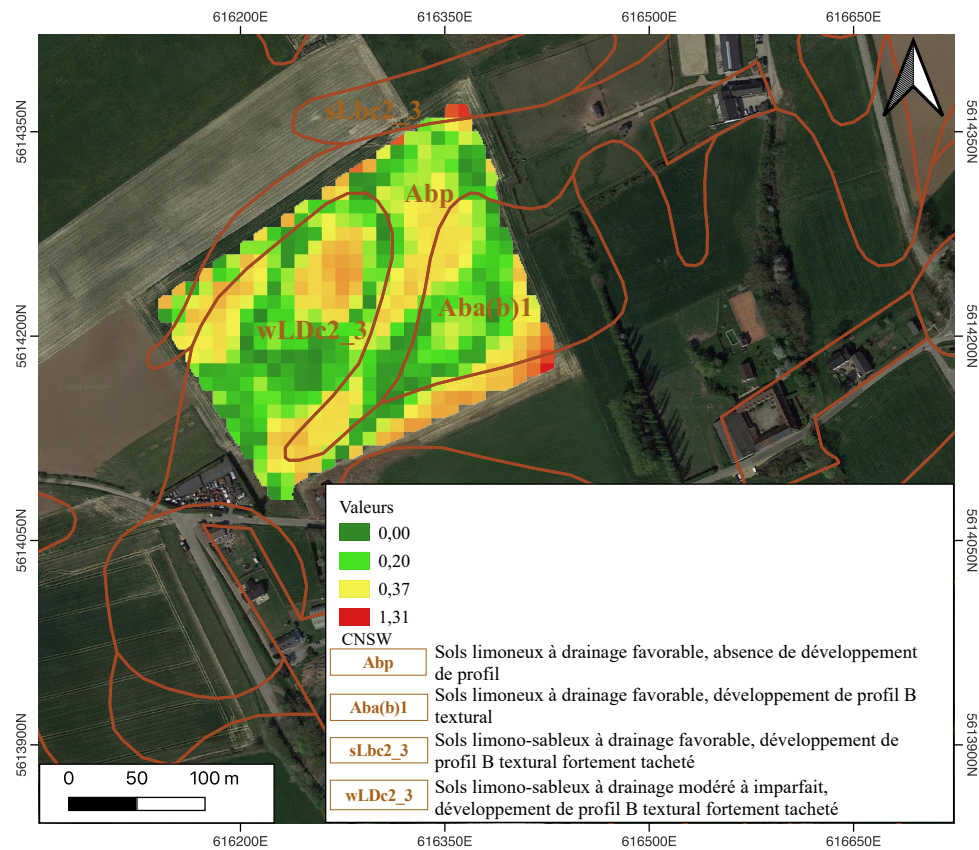


Figure 10 : Indicateur 1 appliqué au champ 2 en 2019

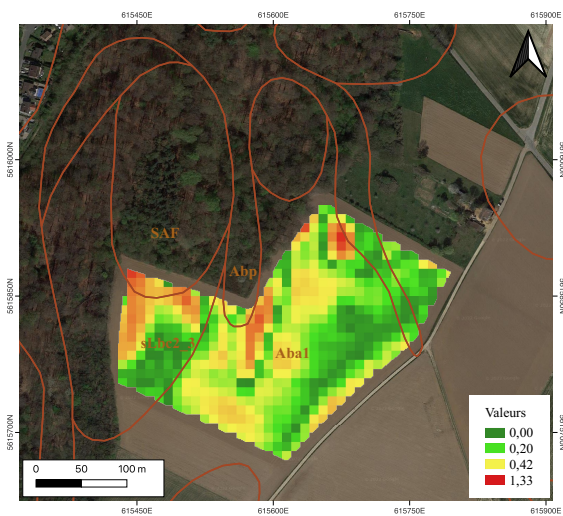


Figure 11 : Indicateur 1 appliqué au champ 1 en 2020



Figure 12 : Indicateur 1 appliqué au champ 2 en 2020

Les zones qui tendent vers le rouge sont donc les zones plus hétérogènes par rapport au reste de la parcelle. Il apparait que des zones de mêmes couleurs reviennent d'une année à l'autre et semblent pour certaines liées aux types de sols. C'est le cas par exemple d'une zone verte pour le type de sol *Aba(b)1* au champ 2. Les axes de ruissellement concentrés semblent également expliquer les zones qui tendent vers le rouge, tel que l'alignement des pixels rouges situés au milieu nord du champ 1, ou encore les pixels oranges situés à l'emplacement de l'axe de ruissellement du champ 2. La topographie peut expliquer la tache rouge au nord-est du champ

1. Enfin, la tache orange du deuxième champ au milieu nord peut être expliquée en combinant le type de sol (limono-sableux) avec la topographie (basse).

#### 4.1.4.2 Moyenne saisonnière du LAI (indicateur 2)

Ici, c'est la moyenne des valeurs de LAI de chaque pixel d'un champ sur l'ensemble de la saison culturale qui est prise ( $\bar{\rho}_1$ ). En regardant la moyenne de chaque pixel sur la saison, on regarde le comportement moyen d'un pixel et on le compare par rapport au comportement moyen du reste de la parcelle (Figures 13 et 14).

Notons qu'un autre indicateur aurait pu être testé, qui est la somme des valeurs de LAI de chaque pixel sur la saison. Cependant, en prenant la somme des valeurs de LAI d'un pixel, on regarde en réalité sa productivité sur la saison, donc les valeurs d'un champ à l'autre seront fortement dépendantes de la biomasse totale sur la saison. Or, en prenant la moyenne, on ne regarde pas juste la productivité mais bien la productivité d'un pixel par rapport à la productivité du champ sur la saison, ce qui permet donc de normaliser les valeurs des pixels.

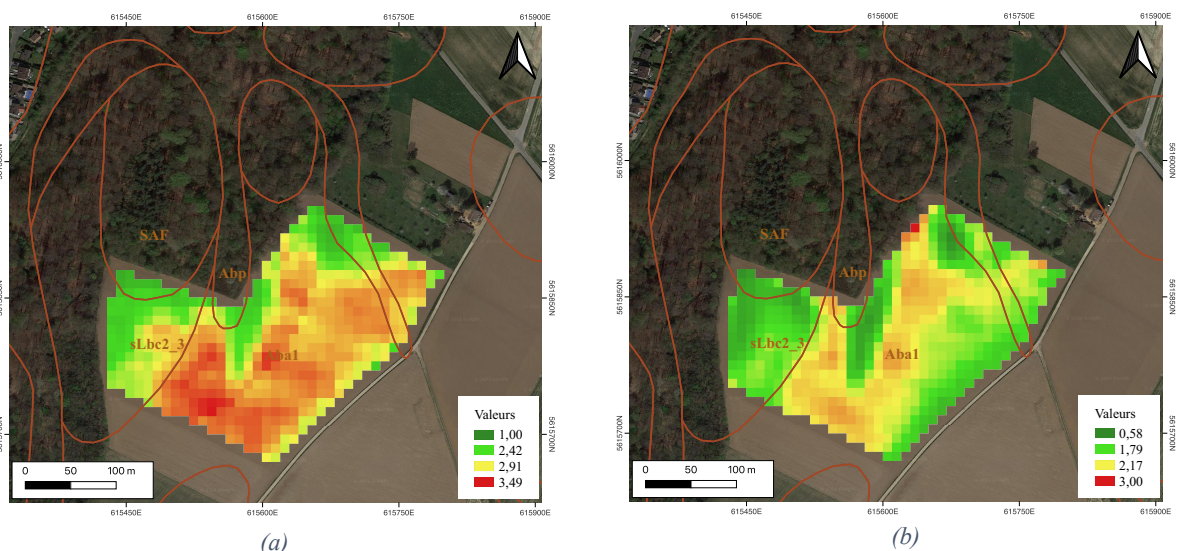


Figure 13 : Indicateur 2 appliqué au champ 1 en 2019 (a) et 2020 (b)

Si on compare les cartes obtenues avec la CNSW, on pourrait presque retracer la carte des sols grâce à cet indicateur, du moins pour 2020 sur le deuxième champ. Bien sûr cet indicateur, étant donné qu'il est en lien direct avec la productivité, le contraste (et donc les valeurs) entre les zones du terrain ne sera pas le même d'une année à l'autre en fonction de la pluviométrie, la température, etc. Comme pour le premier indicateur on observe une tache au même endroit soit au nord-est du champ 1 qui peut être expliquée par la topographie. Cependant, cette tache tend maintenant vers des valeurs faibles alors que pour l'indicateur 1, les pixels de la tache avaient des valeurs élevées. Cela semble être expliqué par le fait que l'on regarde la productivité du pixel par rapport à la parcelle alors que dans le premier indicateur on regardait l'écartement à la tendance générale de la parcelle, qui est en réalité souvent les zones de basses productions. Les couleurs sont donc inverses entre le premier indicateur et le deuxième. On observe aussi toujours une tache verte au milieu nord du champ 2.

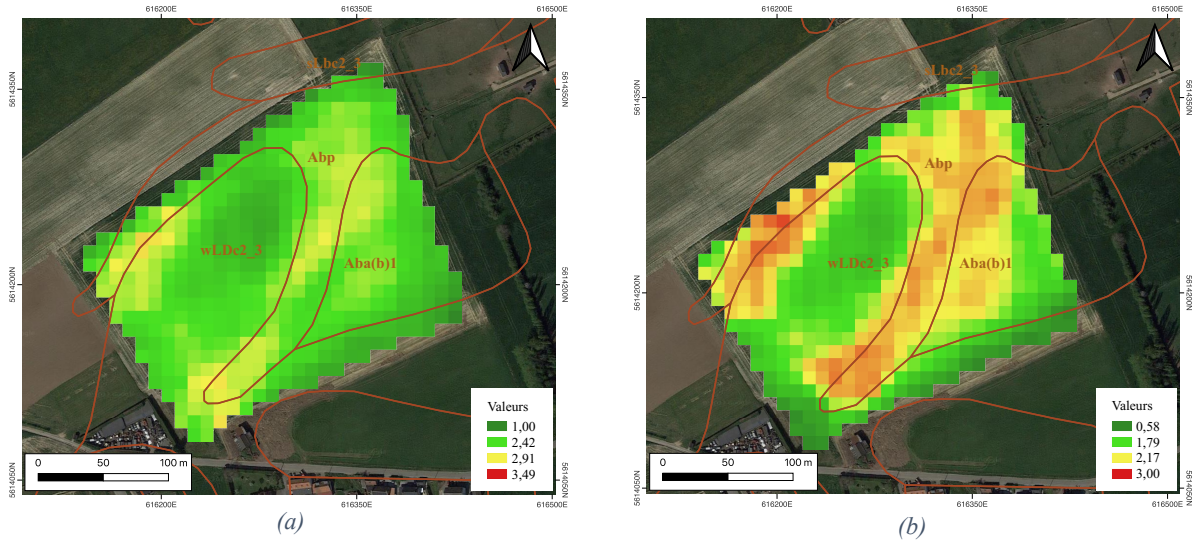


Figure 14 : Indicateur 2 appliqué au champ 2 en 2019 (a) et 2020 (b)

#### 4.1.4.3 Maximum de la déviation absolue par rapport à la moyenne instantanée du LAI (indicateur 3)

Cet indicateur est plus complexe que les deux précédents. Un schéma synthétique a donc été réalisé pour faciliter la compréhension (Figure 15). Pour cet indicateur, la valeur du LAI de chaque pixel pour chaque date de la période de culture pour une parcelle a été prise ( $\rho_{i,t}$ , schématisé en vert), ainsi que la moyenne des LAI d'une parcelle par date ( $\overline{\rho_{parcette,t}}$ , schématisé en bleu). Ensuite, pour chaque pixel à chaque date, la différence entre les deux valeurs a été effectuée (en orange). Enfin, pour chaque pixel, la valeur de la plus grande différence trouvée sur l'ensemble des dates de la saison est gardée (en rouge).

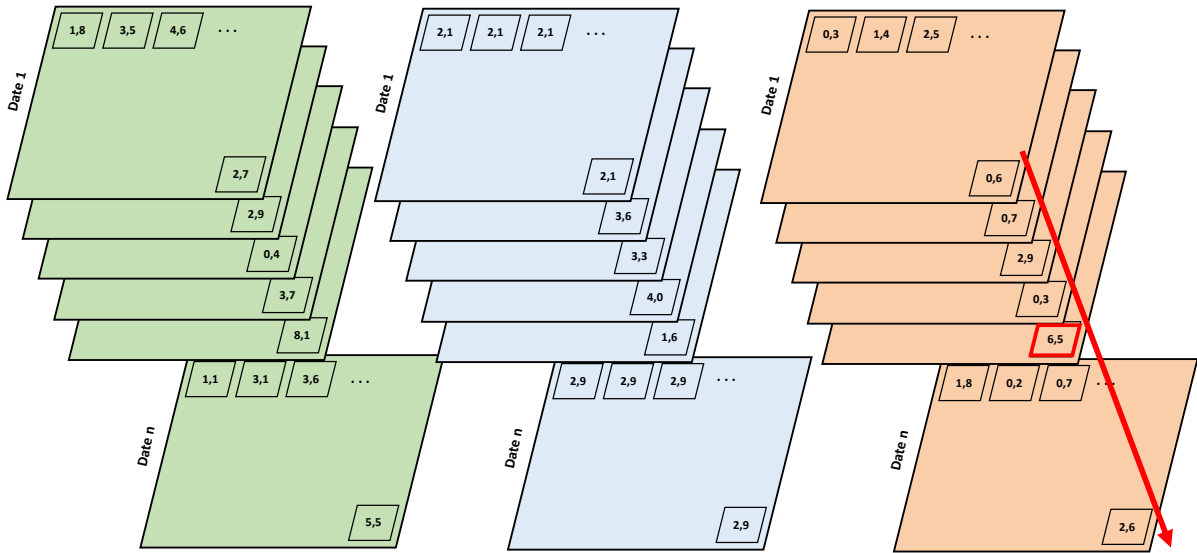


Figure 15 : Schéma illustrant l'explication de l'indicateur 3

En mathématiques, on peut résumer la valeur de chaque pixel par l'équation suivante :

$$\text{Max } |\rho_{i,t} - \overline{\rho_{parcette,t}}| \quad (4)$$



Avec :

- $\rho_{i,t}$  la réflectance du pixel  $i$  à une date donnée.
- $\overline{\rho_{parcette,t}} = \frac{\sum_{p=1}^r \rho_{i,p}}{r}$  avec  $p$  les pixels d'une parcelle,  $p = 1$  est le premier pixel de la parcelle et  $r$  est le nombre de pixels de la parcelle. Donc,  $\overline{\rho_{parcette,t}}$  est la moyenne des réflectances de LAI d'une parcelle pour une date donnée.

Autrement dit, cet indicateur calcule l'amplitude du plus grand contraste par rapport au contexte à la date. Donc on identifie la valeur, à un moment dans la saison, où le pixel diffère au plus du comportement du reste de la parcelle. Avec cet indicateur, la valeur retenue est donc dépendante d'un moment extrême de la saison (Figures 16 et 17).

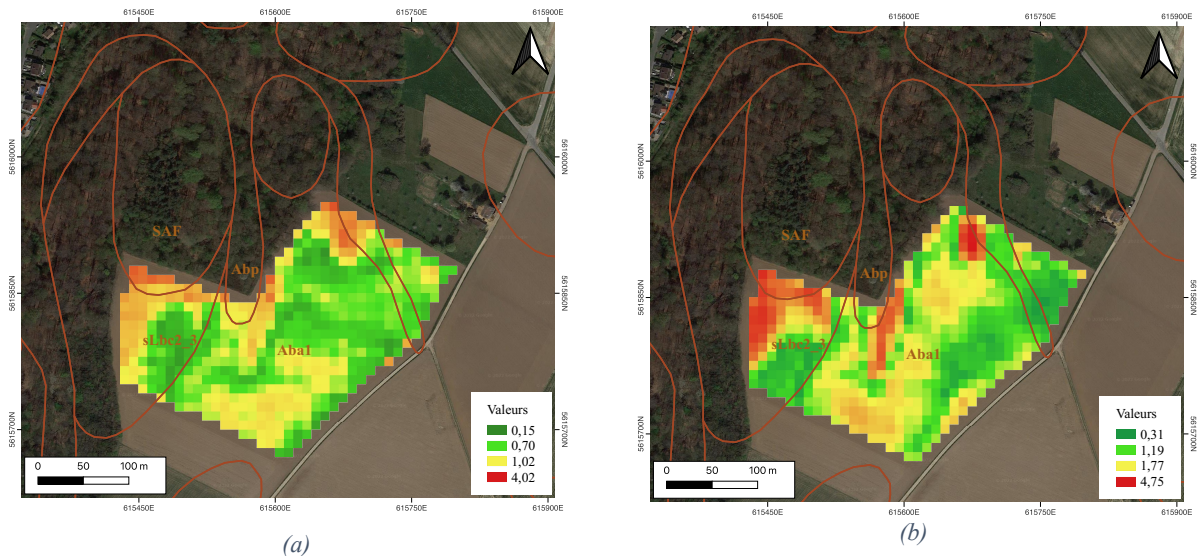


Figure 16 : Indicateur 3 appliqué au champ 1 en 2019 (a) et 2020 (b)

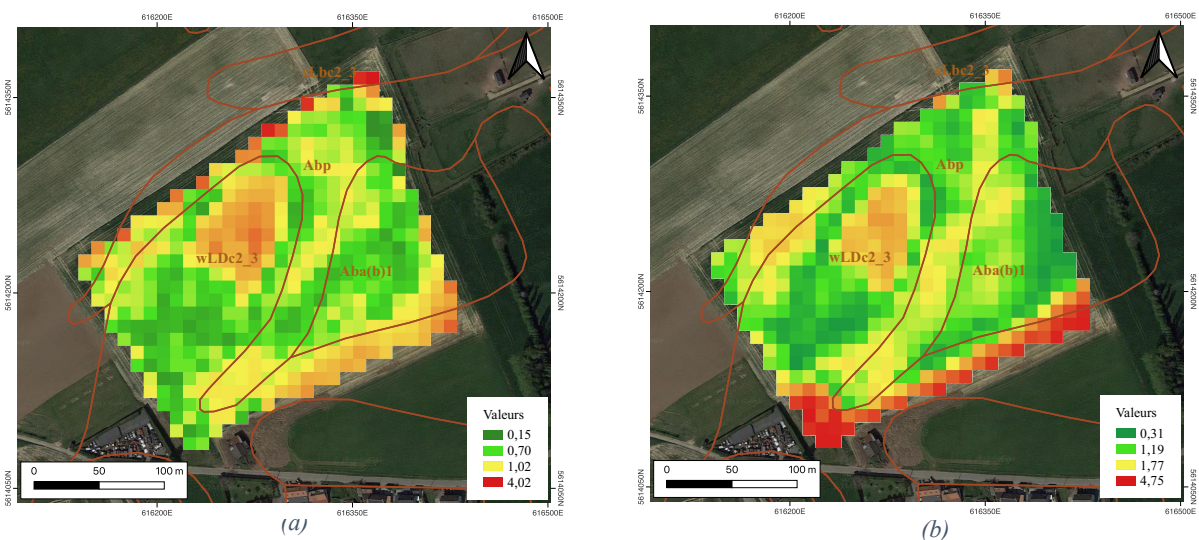


Figure 17 : Indicateur 3 appliqué au champ 2 en 2019 (a) et 2020 (b)

Cet indicateur permet encore une fois de voir l'hétérogénéité des parcelles (en rouge). Des zones reviennent d'une année à l'autre et peuvent être expliquées par la carte des sols, pour notamment la ligne de pixels rouges au sud du champ 2 en 2020. La tache rouge au nord-est du

champ 1 peut être expliquée par l'élévation plus basse dans cette partie du champ. La ligne qui tend vers le rouge au milieu en haut du champ 1 peut être expliquée par l'axe de ruissellement concentré qui passe par là. Tout comme les deux indicateurs précédents, la tache rouge au nord-est du champ 1 est toujours visible, ainsi que la tache orange au milieu nord du champ 2.

#### 4.1.4.4 Maximum de la déviation absolue par rapport à la moyenne saisonnière du LAI (indicateur 4)

Cette méthode est similaire à la méthode précédente (Figure 18). Cependant, au lieu de prendre la moyenne des LAI d'une parcelle pour chaque date, la moyenne des LAI est maintenant calculée sur l'ensemble des dates de la saison (en bleu sur le schéma). La valeur des pixels est donc maintenant identique pour toutes les couches en bleu sur la Figure 18.

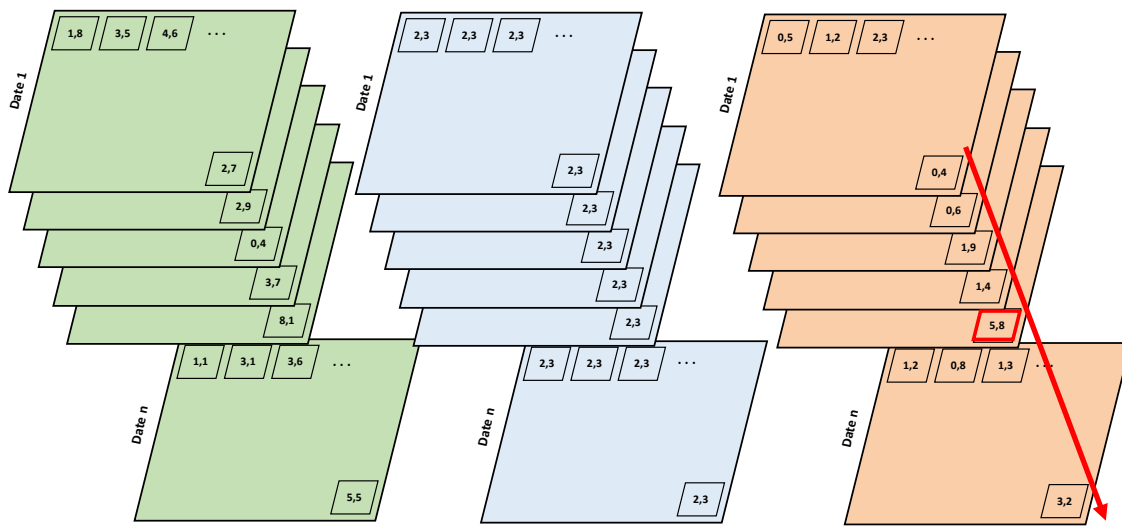


Figure 18 : Schéma illustrant l'explication de l'indicateur 4

En mathématiques, on peut résumer la valeur de chaque pixel par l'équation suivante :

$$\text{Max } |\rho_{i,t} - \overline{\rho_{\text{parcelle}}}| \quad (5)$$

Cet indicateur mesure l'amplitude maximale entre la valeur du pixel à une date donnée et la valeur moyenne du LAI du champ sur la saison (Figures 19 et 20).

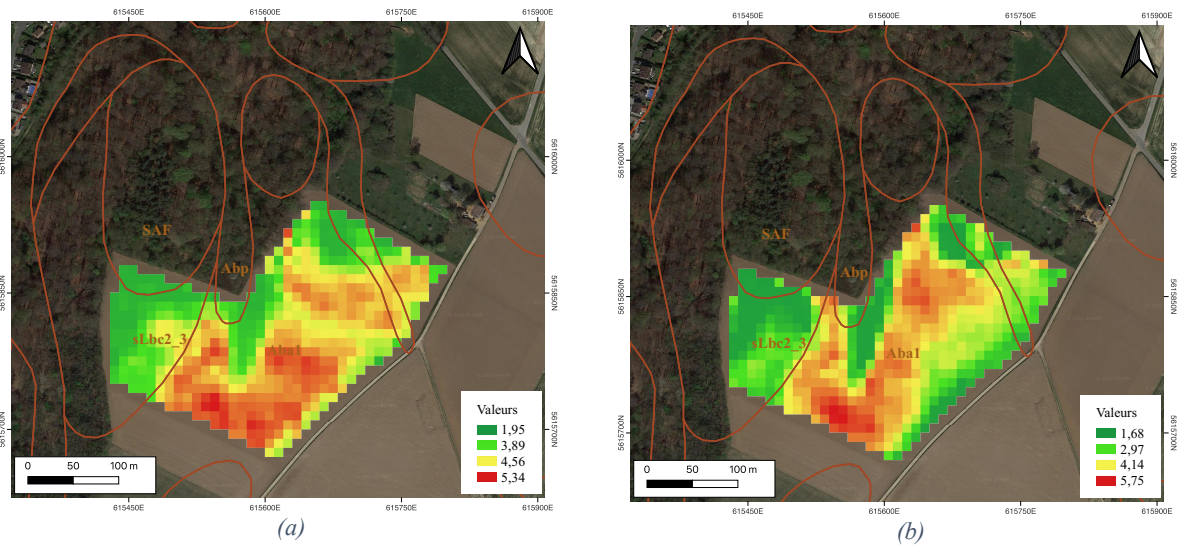


Figure 19 : Indicateur 4 appliqué au champ 1 en 2019 (a) et 2020 (b)

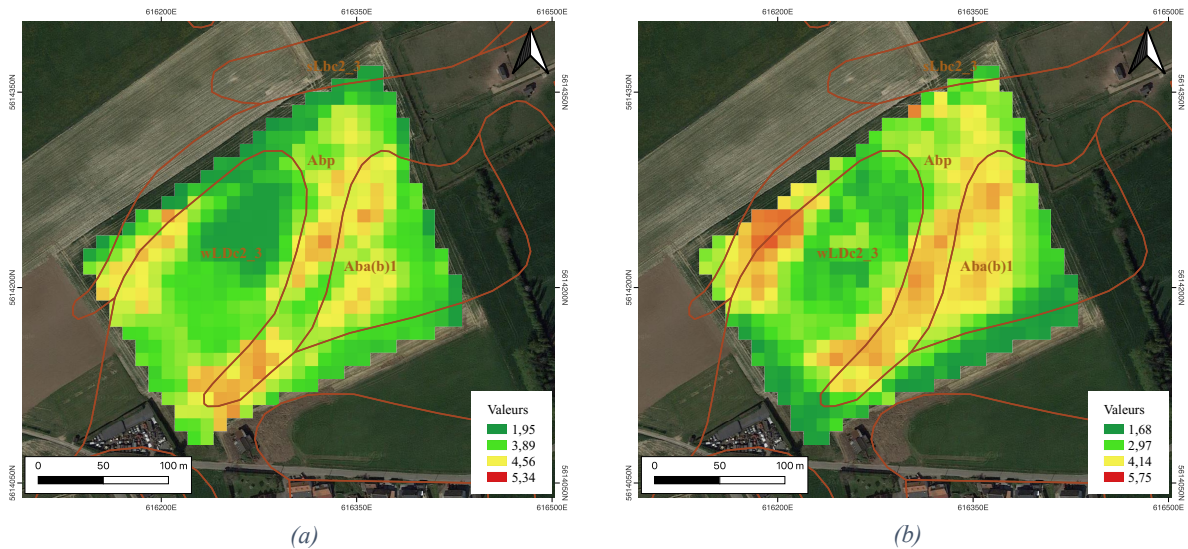


Figure 20 : Indicateur 4 appliqué au champ 2 en 2019 (a) et 2020 (b)

On observe toujours que les pixels prennent la même couleur là où passent les axes de ruissellement dans les deux champs et on identifie toujours les mêmes zones de mêmes couleurs que pour les indicateurs précédents.

#### 4.1.4.5 Rapport de la dispersion des valeurs saisonnières du LAI sur celle de la parcelle (indicateur 5)

L'indicateur 5 consiste à faire le rapport de l'écart-type du profil temporel du pixel ( $\text{std}(\overline{\rho_1})$ ) sur la moyenne de l'écart-type des profils temporels de tous les pixels d'une parcelle  $\text{std}(\overline{\rho_{\text{parcelle}}})$ .

En mathématiques, on peut résumer la valeur de chaque pixel par l'équation suivante :



$$\frac{\text{std}(\bar{\rho}_i)}{\text{std}(\rho_{\text{parcelle}})} \quad (6)$$

Avec std, l'écart-type.

Cet indicateur permet donc de regarder la dispersion des valeurs de LAI sur la saison par rapport à la dispersion des valeurs de LAI des pixels de la parcelle. Au plus la valeur sera faible, au plus la dispersion des valeurs de LAI des pixels de la parcelle est grande par rapport à la dispersion des valeurs de LAI du pixel, donc au plus le pixel a un comportement marginal par rapport au reste de la parcelle (Figures 21 et 22).

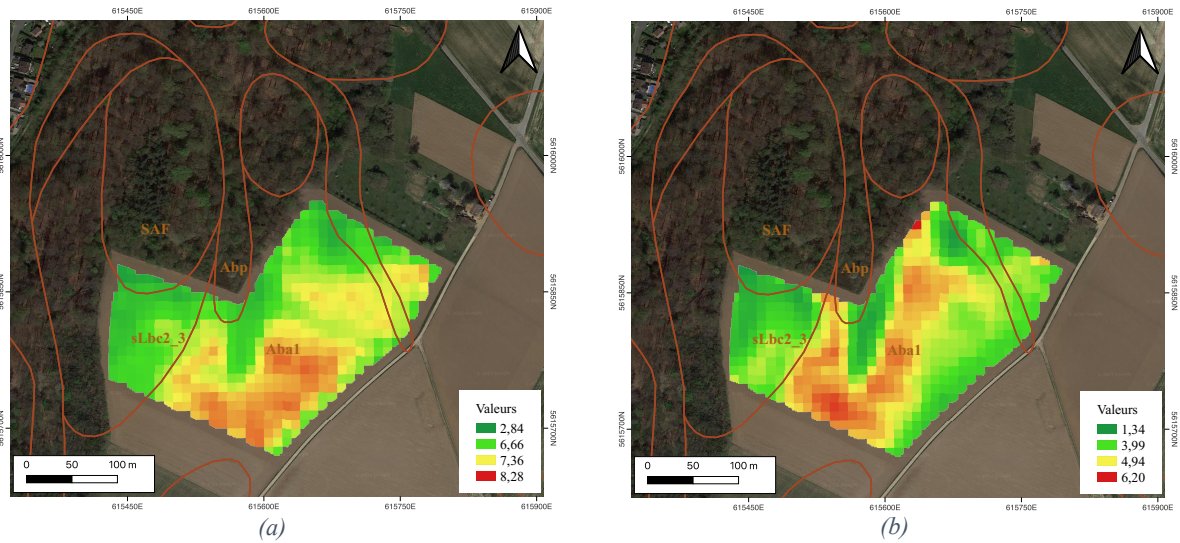


Figure 21 : Indicateur 5 appliqué au champ 1 en 2019 (a) et 2020 (b)

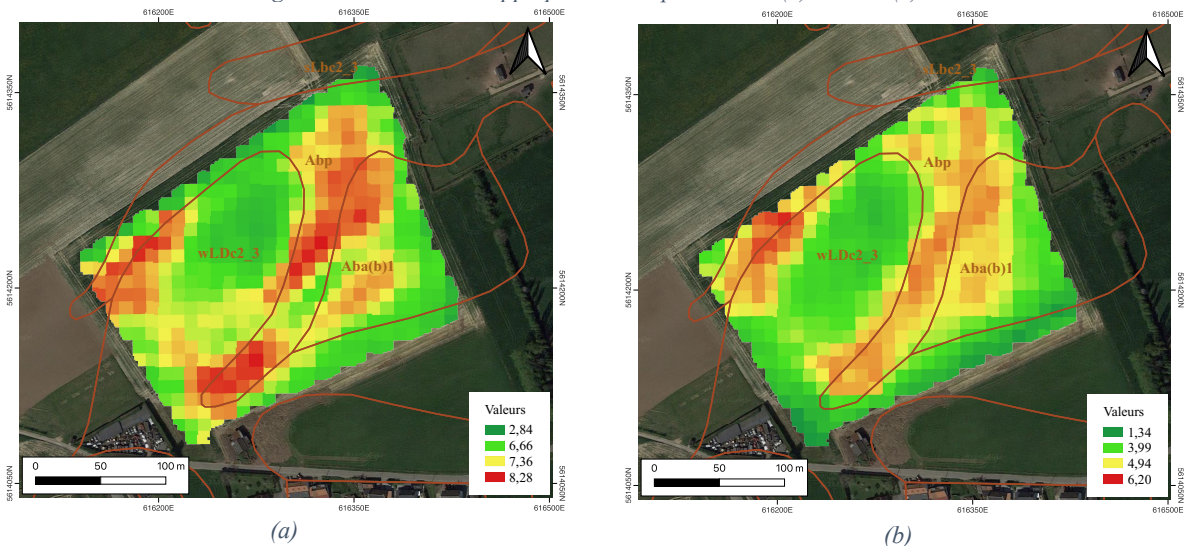


Figure 22 : Indicateur 5 appliqué au champ 2 en 2019 (a) et 2020 (b)

Encore une fois, cet indicateur met bien en évidence les différents types de sols sur les parcelles, surtout pour le champ 2. Comme pour les autres indicateurs, on identifie toujours les mêmes zones hétérogènes. On peut expliquer certaines lignes de pixels rouges par les axes de ruissellement qui passent dans les champs 1 et 2.

En appliquant les différents indicateurs sur les deux parcelles de la ferme universitaire, il en ressort que les résultats obtenus pour 2019 et 2020 diffèrent quelque peu, supposant un potentiel effet de la météorologie d'une année à l'autre. On peut également supposer un potentiel effet de la culture en place sur les indicateurs, ce qui sera analysé dans la section suivante.

#### 4.1.5 Deuxième période

Pour la seconde zone d'étude, comme pour les deux parcelles de la ferme universitaire, les indicateurs ont d'abord été testés sur les 48 parcelles pour la période de mars à octobre. Dans un second temps, le but étant de rechercher l'hétérogénéité lors de la période de haute végétation de la culture principale, les indicateurs sont également testés durant la saison de végétation respective à chaque année, donc à chaque culture. Le but en prenant cette seconde période est de voir si l'application des indicateurs précisément sur la période de culture est plus efficace que d'appliquer les indicateurs simplement de mars à octobre.

Les dates exactes de début et de fin des saisons de haute végétation des deux cultures ont été obtenues en regardant les graphes des valeurs de LAI en fonction de l'année. En regardant les valeurs élevées du LAI, on obtient alors les dates suivantes (voir Annexe A) :

- Du 19 mars 2019 au 17 juillet 2019 pour le froment d'hiver
- Du 15 mai 2020 au 19 octobre 2020 pour la betterave sucrière

#### 4.1.6 Classement hétérogénéité intraparcellaire

Cette section a pour but de diviser les champs en quatre classes en fonction de leur niveau d'hétérogénéité intraparcellaire. Cependant, les valeurs des indicateurs sont à chaque fois associées à un pixel. Pour classer les champs entre eux, il convient donc de prendre une unique valeur par champ.

Il a été observé que pour les indicateurs 2, 4 et 5, au plus les valeurs des pixels sont faibles, au plus les zones associées à ces pixels se comportent différemment du reste de la parcelle. Donc au plus le champ possède des pixels avec des valeurs faibles au plus le champ est hétérogène. L'inverse a été observé pour les indicateurs 1 et 3.

Pour les indicateurs 1 et 3, la valeur retenue choisie est le troisième quartile, soit le percentile 0,75. Cette valeur signifie que 25 % des valeurs des pixels du champ se situent au-dessus de la valeur du percentile 0,75. Elle a été choisie puisque le but est de repérer les zones où l'indicateur prendra des valeurs éloignées du reste du champ, donc des valeurs de pixels élevées. Au plus un champ est hétérogène, au plus ses valeurs de pixels sont élevées et donc au plus la valeur du percentile 0,75 du champ est élevée.

À l'inverse, pour les indicateurs 2, 4 et 5, la valeur retenue est le premier quartile, soit le percentile 0,25. Cette valeur signifie que 25 % des valeurs des pixels du champ se situent en dessous du percentile 0,25. Pour ces indicateurs, le but est de repérer les zones où l'indicateur

prendra des valeurs faibles. Au plus un champ est hétérogène, au plus ses valeurs de pixels sont faibles et donc au plus la valeur du percentile 0,25 est faible.

Afin d'éviter de juste classer les champs en catégorie hétérogène ou homogène, quatre classes sont créées sur base de la valeur du percentile 0,75 ou 0,25 associée à chaque champ.

Les quatre classes sont nommées : très homogène, homogène, hétérogène et très hétérogène. Les valeurs seuils de ces quatre classes sont définies par la moyenne ( $\mu$ ) et l'écart-type ( $\sigma$ ) de l'échantillon de valeurs retenues pour chaque champ (le percentile 0,25 ou 0,75) ;

- Valeurs seuil 1 :  $\mu - \sigma$
- Valeur seuil 2 :  $\mu$
- Valeur seuil 3 :  $\mu + \sigma$

#### 4.1.7 Validation des indicateurs

Afin d'identifier le ou les indicateurs les plus pertinents à la recherche de l'hétérogénéité, chacune des deux périodes utilisées, avec chaque indicateur, sera discutée (en tout, dix tests seront donc discutés étant donné que les deux périodes sont chaque fois testées sur les cinq indicateurs). La discussion se fera en deux étapes : la première étape consiste à vérifier que la variabilité identifiée est bien structurelle, c'est-à-dire qu'elle revient bien d'une année à l'autre. Pour cela les résultats de l'année 2019 seront comparés avec ceux de l'année 2020. La deuxième étape a pour but de comparer les parcelles identifiées hétérogènes par les indicateurs avec d'autres sources de données.

##### 4.1.7.1 Comparaison 2019 et 2020

Afin de comparer les résultats obtenus pour les deux années, les classes obtenues pour chaque champ (très homogène, homogène, hétérogène et très hétérogène) sont comparées d'une année à l'autre. Pour cela, des matrices de cooccurrence de chaque indicateur pour chaque période entre les résultats obtenus pour 2019 et 2020 sont dressées.

Une fois les matrices dressées, des statistiques qui comptabilisent la part de parcelles identifiées dans la même classe entre les deux années, identifiées avec une erreur d'une classe, de deux classes, et de trois classes, sont calculées.

Enfin, pour résumer, il a été décidé de tolérer une marge d'erreur d'une classe. Ainsi, un champ qualifié « homogène » une année et « très homogène » l'année suivante, révèle que l'indicateur ne se trompe pas. Par ailleurs, si ce même indicateur l'avait ensuite catégorisé de « très hétérogène » la deuxième année, on peut s'opposer alors que l'indicateur s'est trompé.

Pour cette dernière étape, le calcul revient à additionner les pourcentages des statistiques : « identifié dans la même classe » et « identifié avec une erreur d'une classe ».

#### 4.1.7.2 Comparaison avec d'autres sources de données

Ici, le niveau d'hétérogénéité des champs identifiés par les indicateurs sera comparé avec d'autres sources.

Tout d'abord, les résultats sont comparés sur base de trois facteurs responsables de la variabilité dans un champ ;

Premièrement, au plus le dénivelé varie au sein d'un champ au plus celui-ci aura tendance à être hétérogène. Pour le facteur « Topographie », la différence entre l'altitude la plus haute et la plus basse du terrain est calculée. La couche utilisée est le MNT (Géoportail de Wallonie).

Ensuite, au plus des axes de ruissellement passent dans le champ, et au plus ceux-ci sont longs et concentrés, au plus la parcelle est hétérogène. Pour le facteur « Axes de ruissellement », le nombre d'axes et la couleur de ceux-ci sont répertoriés. La couche utilisée est la couche LIDAXES (Géoportail de Wallonie). Cette couche représente les axes de concentration naturels des eaux de ruissellement en tenant compte de la topographie. Les LIDAXES donnent deux informations : le cheminement préférentiel de l'eau et le nombre d'hectares de surface drainée qui aboutit à un point donné (et donc la quantité d'eau qui pourrait potentiellement atteindre ce point).

Troisièmement, au plus il y a de types de sols différents, au plus le champ aura de chance d'être hétérogène. Pour le facteur « Pédologie », la couche utilisée est la CNSW (Géoportail de Wallonie). Les champs seront analysés sur base de leur classe texturale et de l'état du drainage naturel de leur sol.

Outre la comparaison avec d'autres facteurs, une analyse visuelle grâce aux outils de la plateforme BELCAM sera réalisée. Deux outils sont utilisés : les images satellites présentées dans le visible et dans le proche infrarouge. Il s'agit donc ici d'une appréciation visuelle qualitative.

Dans cette section, les résultats seront également comparés avec le coefficient de variation, un autre indicateur fréquemment utilisé pour quantifier l'hétérogénéité intraparcellaire.

## 4.2 Écologie des parcelles agricoles

Pour rappel, le but de cette partie est d'évaluer le potentiel écologique relatif d'une prairie ou d'un champ quant à l'installation d'une mesure agroenvironnementale et climatique.

### 4.2.1 Zone d'étude

Pour cette seconde partie, la zone d'étude se situe dans la région agro-géographique du Condroz. Cette zone a été choisie, car elle comprend un paysage contrasté associant plateaux agricoles monotones, réseau de haies et bosquets, et lisières de forêts, dans l'optique de

comparer des parcelles avec des situations très variées. La zone d'étude s'étend sur une superficie de 245 km<sup>2</sup> et se situe au centre de la Wallonie. Elle comprend des parcelles agricoles de sept communes : Hamois, Assesse, Ciney, Havelange, Ohey, Yvoir et Gesves (Figure 23).

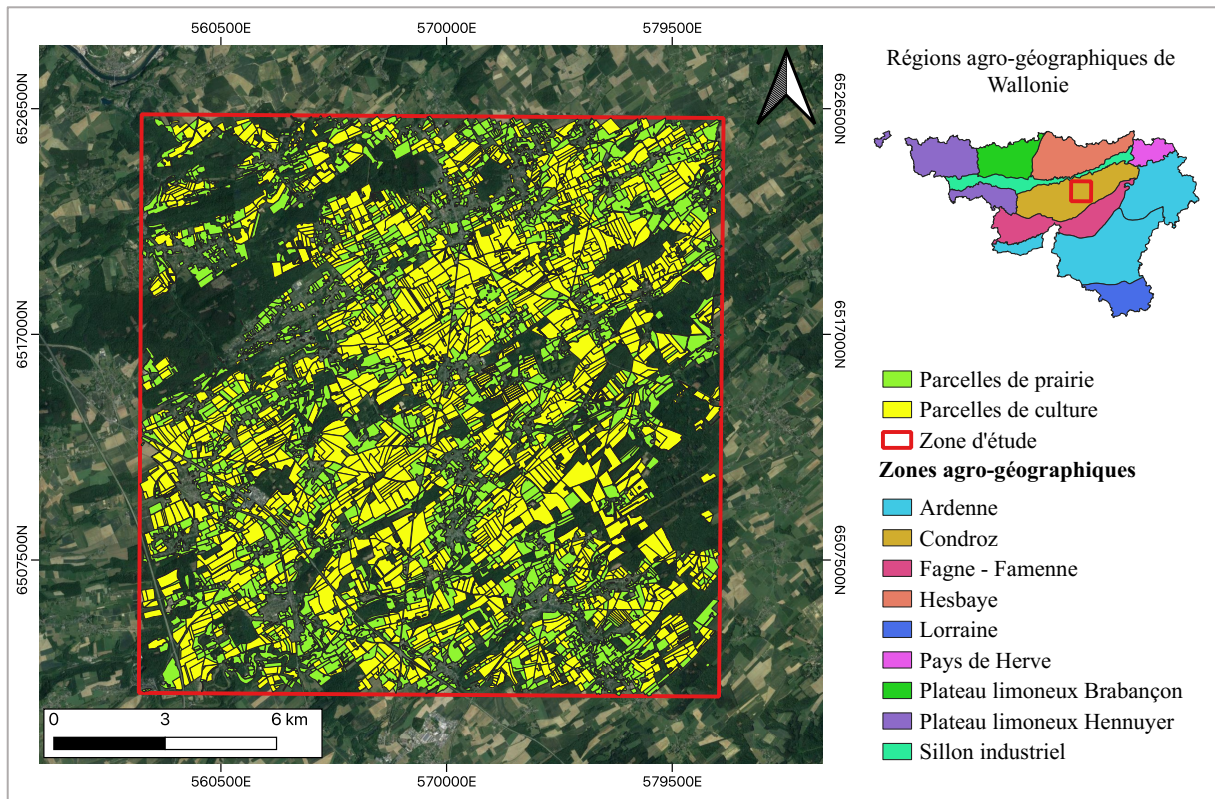


Figure 23 : Localisation de la zone d'étude de la partie « Écologie des parcelles agricoles »

Dans cette zone, toutes les parcelles issues du parcellaire anonyme du SIGEC de 2020 ont été sélectionnées, soit 5876 parcelles. Dans cette méthode, une parcelle sera alors définie sur base annuelle selon la culture principale qui y est effectuée.

On distinguera les prairies (3447 parcelles), des cultures (2429 parcelles) puisque la méthode appliquée à chacune des deux fonctions diffère.

#### 4.2.2 Méthodologie générale

Dans cette partie, la méthodologie utilisée se base sur la méthode d'analyse multicritère. Cette méthode consiste à évaluer le potentiel écologique relatif d'une parcelle agricole sur base de différents critères. Ceux-ci sont répartis en quatre grands axes.

Le premier axe « Taille » consiste à regarder les éléments propres à la parcelle, sans regarder son voisinage. Cet axe a comme unique critère la taille de la parcelle.

Les trois axes suivants se distinguent du premier puisqu'ils se basent sur trois mesures agroenvironnementales et climatiques (ou une combinaison de deux mesures). Pour chaque mesure, la méthode consiste à regarder et quantifier des éléments du paysage dans un certain



rayon autour de la parcelle. Pour définir la distance de ce rayon, ainsi que les éléments du paysage, autrement dit les critères de proximité à quantifier, une espèce animale par mesure a été choisie. La taille du rayon sera alors fonction de la distance de dispersion de l'espèce et les critères seront fonction de l'habitat de l'espèce choisie pour l'axe. Contrairement au premier axe, ces trois axes comprennent plusieurs critères.

En pratique, c'est le logiciel ArcGIS Pro qui a été utilisé. Pour créer un rayon de x mètres autour de chaque parcelle, c'est l'outil *Zone tampon* qui est utilisé, la distance à laquelle le tampon se calcule est définie en partant du bord de la parcelle. Pour quantifier les critères autour des parcelles, c'est l'outil *Intersecter* puis l'outil *Résumés statistiques* qui sont utilisés. Enfin, les tables générées sont converties vers le logiciel Excel grâce à l'outil *Table vers Excel*.

Les MAEC et les espèces associées à chaque axe sont les suivantes (plus de détails à la section 4.2.3) :

- Le deuxième axe est l'axe « Mare » et se base sur la MAEC *MB1.c* intitulé également « Mares » et l'espèce choisie est le triton crêté (*Triturus cristatus*).
- Le troisième axe est l'axe « Bandes aménagées » et reprend la MAEC *MC8* du même nom et l'espèce choisie est le bourdon (genre *Bombus*).
- Le dernier axe est l'axe « Haies et arbres » et reprend les MAEC *MB1a* : « Haies et alignement d'arbres » et la MAEC *MB1b* : « Arbres, buissons, bosquets isolés et arbres fruitiers » et l'espèce choisie est le bruant jaune (*Emberiza citrinella*).

Attention, il y a quatre axes, mais seuls trois axes interviennent dans le score final des prairies, soit les axes : « Taille », « Mare » et « Arbres et haies » (Tableau 4). Les MAEC des bandes aménagées sont en effet propres aux cultures. De même, pour les champs, trois axes interviennent : « Taille », « Bandes aménagées » et « Arbres et haies » puisqu'une mare est spécifique aux prairies (Tableau 5).

Tableau 4 : Résumé des axes et critères pour les prairies

| ID   | Axe<br>« Taille » | MAEC                                  |                                    |                          |                        |                                   |                              |                                       |                          |                        |                                   |
|------|-------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------------|
|      |                   | Axe « Mares »                         |                                    |                          |                        |                                   |                              | Axe « Haies et arbres »               |                          |                        |                                   |
|      | Taille            | Proximité aux<br>zones Natura<br>2000 | Proximité<br>aux tritons<br>crêtés | Proximités<br>aux forêts | Proximité<br>aux haies | Proximité<br>aux arbres<br>isolés | Proximité<br>aux<br>prairies | Proximité aux<br>zones Natura<br>2000 | Proximités<br>aux forêts | Proximité<br>aux haies | Proximité<br>aux arbres<br>isolés |
| 1    |                   |                                       |                                    |                          |                        |                                   |                              |                                       |                          |                        |                                   |
| 2    |                   |                                       |                                    |                          |                        |                                   |                              |                                       |                          |                        |                                   |
| 3    |                   |                                       |                                    |                          |                        |                                   |                              |                                       |                          |                        |                                   |
| etc. |                   |                                       |                                    |                          |                        |                                   |                              |                                       |                          |                        |                                   |

Tableau 5 : Résumé des axes et critères pour les champs

| ID   | Axe<br>« Taille » | MAEC                                  |                                |                          |                        |                                |                                       |                          |                        |                                   |
|------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------------|
|      |                   | Axe « Bandes aménagées»               |                                |                          |                        |                                | Axe « Haies et arbres »               |                          |                        |                                   |
|      | Taille            | Proximité aux<br>zones Natura<br>2000 | Proximité<br>aux bandes<br>MC8 | Proximités<br>aux forêts | Proximité<br>aux haies | Proximité aux<br>arbres isolés | Proximité aux<br>zones Natura<br>2000 | Proximités<br>aux forêts | Proximité<br>aux haies | Proximité<br>aux arbres<br>isolés |
| 1    |                   |                                       |                                |                          |                        |                                |                                       |                          |                        |                                   |
| 2    |                   |                                       |                                |                          |                        |                                |                                       |                          |                        |                                   |
| 3    |                   |                                       |                                |                          |                        |                                |                                       |                          |                        |                                   |
| etc. |                   |                                       |                                |                          |                        |                                |                                       |                          |                        |                                   |

Pour chaque axe, une fois la distance du tampon et les critères définis, chaque critère est évalué entre 0 et 3. La cote de « 0 » est attribuée à une parcelle si celle-ci ne possède pas le critère dans sa zone tampon. Une cote de « 1 » indique les propriétés les moins appropriées alors qu'une cote de « 3 » est associée aux propriétés les plus appropriées au regard du critère considéré.

Ensuite, pour définir les valeurs seuils pour les cotes de 1 à 3, il est difficile de définir une valeur seuil universelle. Donc, sur base des valeurs associées à chaque parcelle d'un critère donné, il convient de diviser l'échantillon de parcelles en trois groupes égaux. Ainsi, pour les cotes de 1 à 3, il y aura chaque fois autant de parcelles dans chacune des classes. Par exemple, une parcelle se verra alors attribuer une cote de 3 pour le critère « proximité aux forêts » si elle se situe dans les 33 % des parcelles de la zone d'étude qui possèdent le plus de forêts dans sa zone tampon. C'est donc bien pour cela qu'on parle d'évaluer le potentiel relatif d'une parcelle, une parcelle qui possède un score élevé possède en réalité une meilleure aptitude par rapport aux autres parcelles de la zone étudiée.

En pratique, dans un second temps, c'est le logiciel Excel qui est utilisé pour effectuer les différentes opérations mathématiques. La fonction *Centile* permet de définir les valeurs seuils nécessaires pour diviser l'échantillon de valeurs en trois groupes égaux.

Toutes les parcelles, représentées par un identifiant (ID), se trouvent dans une grande base de données où chaque ligne correspond à une parcelle et chaque colonne à un axe, lui-même sous-divisé en critères. La liste des critères utiles et la source de donnée associée sont répertoriées au Tableau 6.

*Tableau 6 : Résumé des sept critères intervenant dans l'analyse multicritère*

| <b>Critères</b>                                            | <b>Source de la donnée</b>                             |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Critères propres aux parcelles</b>                      |                                                        |
| Taille                                                     | Outils dans ArcGIS Pro                                 |
| <b>Critères de proximité exprimés en % de recouvrement</b> |                                                        |
| Proximité aux zones Natura 2000                            | Réseau Natura 2000 en vigueur (Géoportail de Wallonie) |
| Proximité aux forêts                                       | Masque forestier (Géoportail de Wallonie)              |
| <b>Critères de proximité exprimés en quantité</b>          |                                                        |
| Proximité aux arbres isolés                                | ESP (produit non diffusé de la Région wallonne)        |
| Proximité aux tritons crêtés                               | Données d'observation du triton crêté (Natagora)       |
| Proximité aux bandes                                       | Natagriwal                                             |
| <b>Critère de proximité exprimé en km</b>                  |                                                        |
| Proximité aux haies                                        | ESP (produit non diffusé de la Région wallonne)        |

Pour le calcul des critères de proximité exprimés en % de recouvrement, la méthode consiste à diviser la valeur du critère en unité de surface de la parcelle, par la différence entre la surface de la zone tampon et la surface de la parcelle. Donc le pourcentage de recouvrement désigne la part occupée par un critère donné dans un rayon de x mètres autour d'une parcelle.

Le score<sub>axe</sub> est le score attribué à chacun des axes, ce qui permet d'évaluer l'aptitude d'une parcelle pour chaque axe étudié (Éq. 7).

$$\text{Score}_{\text{axe}} = \sum_{i=1}^n C_i * w_i \quad (7)$$

Ce score se trouve en faisant la somme des n critères  $C_i$  intervenant dans le calcul de l'axe étudié. Un poids  $w_i$  est un coefficient que l'on affecte à chaque critère en fonction de son importance, les critères sont dits pondérés. Les cotes de chaque critère sont donc multipliées par un poids en fonction de l'importance de ce critère quant à l'axe étudié. Le score de chaque axe prend une valeur entre 0 et 3.

Enfin, il est possible d'attribuer un score final à chaque champ ou prairie. Pour cela, on additionne les différents axes (Éq. 8). Cette fois, aucun poids n'est attribué aux différents axes.

$$\text{Score}_{\text{final}} = \sum_{j=1}^r \text{Score}_{\text{axe},j} \quad (8)$$

### 4.2.3 Description du calcul de chaque axe

#### 4.2.3.1 Axe « Taille »

Cet axe comprend un unique critère qui est la taille de la parcelle. Il aurait été possible de prendre également la forme de la parcelle, mais après examen de ce critère, celui s'avère être fortement corrélé avec la taille, et a donc été exclu.

La taille d'une parcelle est souvent utilisée dans des études scientifiques pour évaluer son potentiel écologique (Sirami et al. 2019). Dans ces études, on trouve qu'une taille de parcelle réduite a un effet positif sur de nombreuses espèces (oiseaux, chauve-souris, abeilles et bourdons, etc.). Réduire la taille augmente les effets de lisières, favorables à la biodiversité. Une parcelle aura donc un score plus élevé si sa taille est davantage réduite.

#### 4.2.3.2 Axe « Mare »

L'axe « Mare » se base sur la MAEC *MBI.c* intitulé également « Mares ». Cette mesure vise à installer une étendue d'eau dormante de minimum 25 m<sup>2</sup>. Cette méthode permet d'accueillir de nombreux amphibiens (triton crêté, crapaud accrocheur, etc.) et sert à préserver la biodiversité, les ressources en eau ou encore à maintenir les éléments des paysages ruraux.

L'espèce choisie pour cet axe est le triton crêté (*Triturus cristatus*) qui est une espèce de triton de grande taille de la famille des Salamandridae. Les mares dans les régions bocagères sont un habitat favorable pour cette espèce. Elle apprécie les prairies permanentes, mais également un peu de bocages, même peu denses (haies, bosquets). Cette espèce parcourt des distances d'environ 500 m (Langton et al. 2001). Le triton crêté a été choisi pour trois raisons : c'est une espèce du milieu agricole, l'espèce ainsi que son habitat sont très documentés, et c'est une espèce parapluie, c'est-à-dire que les milieux occupés par le triton sont riches en d'autres espèces qui partagent le même habitat. Les exigences importantes des espèces parapluies sont supposées englober les exigences moins étendues d'un ensemble d'espèces (Cristofoli et Mahy, 2010). Autrement dit, en regardant l'habitat du triton crêté, on regarde en fait l'habitat d'un ensemble d'espèces.

Étant donné la description de l'habitat du triton crêté, plusieurs critères semblent essentiels : la « proximité aux zones Natura 2000 », la « proximité aux tritons crêtés », la « proximité aux forêts », la « proximité aux haies », la « proximité aux arbres isolés », et la « proximité aux prairies ». La distance de la zone tampon est ici de 500 m.

Les zones Natura 2000 sont des zones de grande importance biologique, d'autant plus que le triton crêté est une espèce répertoriée Natura 2000. Ce critère se voit attribuer un poids de 2.

Ensuite, il a été pensé de regarder la proximité aux plans d'eau, puisqu'une mare sera colonisée si celle-ci possède d'autres mares aux alentours. Cependant, si les mares aux alentours ne possèdent aucune faune, la mare qu'on creusera dans la prairie ne sera pas colonisée, et aura donc un intérêt moindre pour la biodiversité. Donc, il a été choisi de regarder les plans d'eau aux alentours où un ou plusieurs tritons crêtés ont été observés. Ce critère a également un poids de 2.

Pour les autres critères, ceux-ci possèdent un poids de 1.

#### 4.2.3.3 Axe « Bandes aménagées »

Le troisième axe se nomme « Bandes aménagées » et reprend la MAEC MC8 du même nom. Cette MAEC comprend les « Bandes aménagées pour la faune » (MC8a), les « Bandes aménagées de lutte contre le ruissellement érosif » (MC8b) et les « Bandes aménagées à fleurs des prés » (MC8c). Ces bandes sont ensemencées d'un couvert végétal (dépendant du type de bandes) et visent à renforcer le maillage écologique, à améliorer la capacité d'accueil de la faune sauvage, limiter l'érosion, offrir une source de nourriture et de nidification, etc.

Pour cet axe, c'est le genre *Bombus* (les bourdons) qui a été sélectionné. Cette espèce peut parcourir en moyenne des distances de 500 m (Wolf et Moritz, 2008). Les bourdons fréquentent les forêts, les champs ou autres endroits où on peut trouver des plantes nectarifères.

Les critères pour cette mesure sont : la « proximité aux zones Natura 2000 », la « proximité aux bandes MC8 », la « proximité aux forêts », la « proximité aux haies » et la « proximité aux arbres isolés ».

Pour le critère « proximité aux bandes MC8 », cela consiste à regarder si parmi les champs dans un rayon de 500 m, d'autres ont déjà mis en place une bande MC8.

Pour les poids, la « proximité aux zones Natura 2000 » a un poids de 2, étant donné que ce sont des milieux riches en biodiversité. Les autres critères possèdent un poids de 1.

#### 4.2.3.4 Axe « Haies et arbres »

Le quatrième axe se nomme « Haies et arbres » et reprend les MAEC *MB1a* : « Haies et alignement d'arbres » qui consiste à maintenir et entretenir des haies composées d'espèces indigènes feuillues et la MAEC *MB1b* : « Arbres, buissons, bosquets isolés et arbres fruitiers » qui vise au maintien et l'entretien d'arbres, buissons, bosquets isolés et arbres fruitiers d'espèces indigènes. Ces MAEC visent à limiter l'érosion, favoriser la biodiversité, à apporter de l'ombrage au bétail, etc.

Pour cet axe c'est le bruant jaune qui a été retenu. C'est un oiseau emblématique des milieux agricoles et est une espèce qu'on retrouve dans le Condroz. Le nombre de bruants jaunes est en diminution suite à l'évolution des pratiques agricoles. Il fréquente les zones agricoles avec haies et bosquets (La biodiversité en Wallonie, s. d.). Selon une étude, le bruant jaune parcourt en moyenne des distances de 2 km (Ostyn et al. 2016).

Les critères pour cet axe sont : la « proximité aux forêts », la « proximité aux zones Natura 2000 », la « proximité aux haies » et la « proximité aux arbres isolés ». La distance de la zone tampon est de 2000 m.

Une fois les quatre critères calculés, un poids pour chaque critère a été attribué : un poids de 3 pour le critère « proximité aux zones Natura 2000 » toujours pour les mêmes raisons que cité pour les axes précédents, un poids de 2 pour la « proximité aux haies » puisque le bruant jaune aime particulièrement les réseaux de haies, et un poids de 1 pour les deux derniers critères

## 5 Résultats et discussion

Tout comme la méthodologie, cette section est également divisée en deux sections. La première section démontre les résultats qui concernent l'hétérogénéité des parcelles et la seconde section, les résultats du potentiel écologique relatif des parcelles.

### 5.1 Hétérogénéité des parcelles agricoles

Comme décrit dans la partie « matériel et méthode », cinq indicateurs ont été appliqués sur deux périodes différentes, durant deux années consécutives, sur 48 champs. Pour rappel, les deux périodes testées sont : pour la période 1, toutes les dates de mars à octobre, et pour la période 2, du 3 mars au 17 juillet 2019 et du 15 mai au 19 octobre 2020.

Les indicateurs ayant été calculés, il est possible de comparer ceux-ci pour 2019 et 2020. Pour rappel, les cinq indicateurs testés sont présentés au Tableau 7.

*Tableau 7 : Récapitulatif des cinq indicateurs*

|                     |                                                                                   |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Indicateur 1</b> | Déviatiion absolue par rapport à la moyenne saisonnière du LAI                    |
| <b>Indicateur 2</b> | Moyenne saisonnière du LAI                                                        |
| <b>Indicateur 3</b> | Maximum de la déviatiion absolue par rapport à la moyenne instantanée du LAI      |
| <b>Indicateur 4</b> | Maximum de la déviatiion absolue par rapport à la moyenne saisonnière du LAI      |
| <b>Indicateur 5</b> | Rapport de la dispersion des valeurs saisonnières du LAI sur celle de la parcelle |

Un exemple pour l'indicateur « rapport de la dispersion des valeurs saisonnières du LAI sur celle de la parcelle » est visible aux Figures 24 et 25.



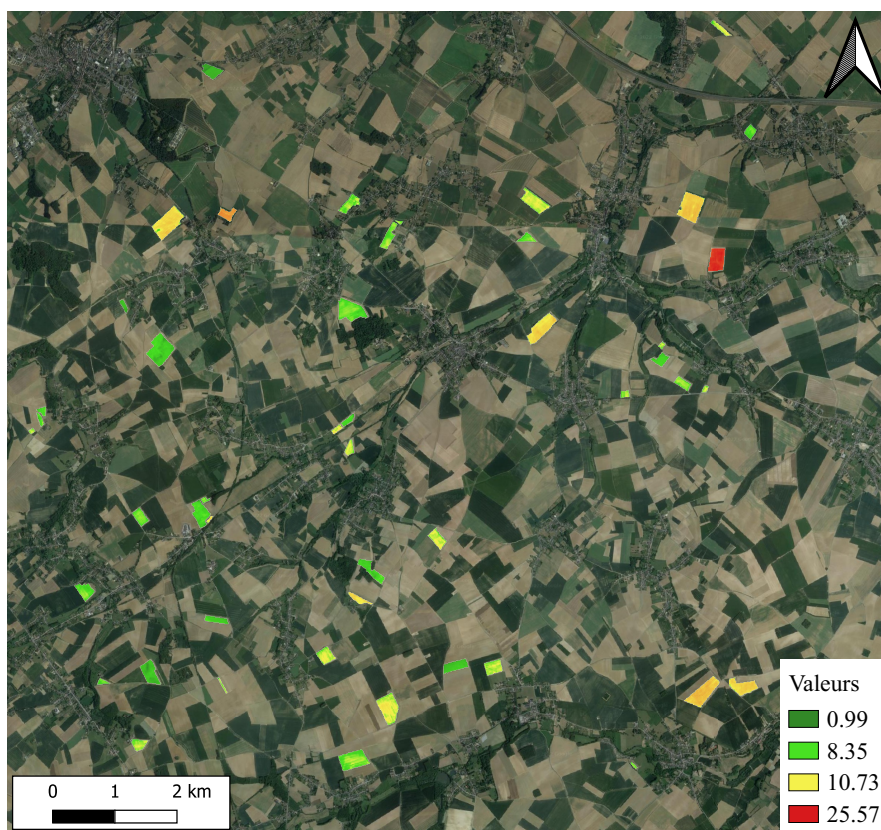


Figure 25 : Indicateur 5 avec la période 2 en 2019

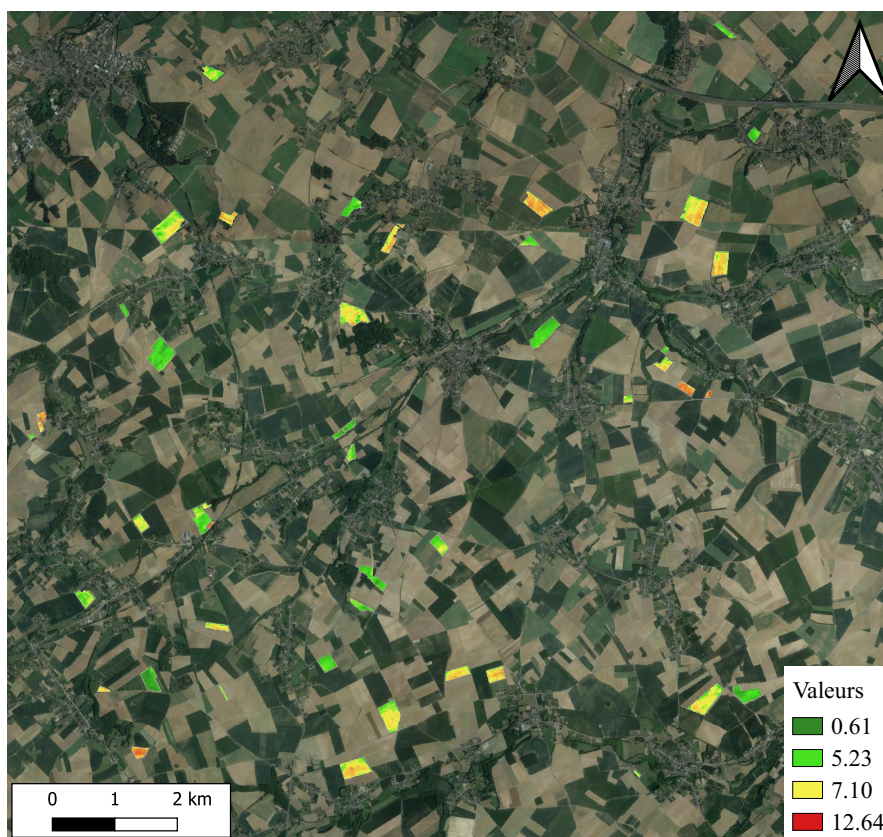


Figure 24 : Indicateur 5 avec la période 2 en 2020

On retrouve des similitudes entre les deux cartes présentées. Cependant, il est impossible d'arriver à une conclusion uniquement sur base de la comparaison entre ces deux cartes.

### 5.1.1 Comparaison 2019 et 2020

Dans cette section sont présentées les matrices de cooccurrence des 48 champs entre l'année 2019 et 2020. Les Tableaux 8 et 9 présentent les résultats de l'indicateur « déviation absolue par rapport à la moyenne saisonnière du LAI » pour les deux périodes. Les autres Tableaux sont présentés à l'Annexe B.

Tableau 8 : Matrice de cooccurrence de l'indicateur 1 avec la période 1

|      | 2020            |                 |            |           |               |           |
|------|-----------------|-----------------|------------|-----------|---------------|-----------|
|      | Classe          | Très hétérogène | Hétérogène | Homogène  | Très homogène | Total     |
| 2019 | Très hétérogène | 3               | 5          | 3         | 1             | 12        |
|      | Hétérogène      | 2               | 3          | 7         | 3             | 15        |
|      | Homogène        | 4               | 5          | 6         | 3             | 18        |
|      | Très homogène   | 0               | 0          | 2         | 1             | 3         |
|      | <b>Total</b>    | <b>9</b>        | <b>13</b>  | <b>18</b> | <b>8</b>      | <b>96</b> |

Identifié dans la même classe : 27,1 %

Identifié avec une erreur d'une classe : 50 %

Identifié avec une erreur de deux classes : 20,8 %

Identifié avec une erreur de trois classes : 2,1 %

Tableau 9 : Matrice de cooccurrence de l'indicateur 1 avec la période 2

|      | 2020            |                 |            |           |               |           |
|------|-----------------|-----------------|------------|-----------|---------------|-----------|
|      | Classe          | Très hétérogène | Hétérogène | Homogène  | Très homogène | Total     |
| 2019 | Très hétérogène | 2               | 2          | 2         | 0             | 6         |
|      | Hétérogène      | 3               | 6          | 4         | 4             | 17        |
|      | Homogène        | 4               | 4          | 9         | 2             | 19        |
|      | Très homogène   | 0               | 1          | 3         | 2             | 6         |
|      | <b>Total</b>    | <b>9</b>        | <b>13</b>  | <b>18</b> | <b>8</b>      | <b>96</b> |

Identifié dans la même classe : 39,6 %

Identifié avec une erreur d'une classe : 37,5 %

Identifié avec une erreur de deux classes : 22,9 %

Identifié avec une erreur de trois classes : 0 %

En résumé, en décidant de tolérer une marge d'erreur d'une classe, on obtient le Tableau 10.

Tableau 10 : Stabilité interannuelle des indicateurs en prenant une marge d'erreur d'une classe

|                     | Période 1 [%] | Période 2 [%] |
|---------------------|---------------|---------------|
| <b>Indicateur 1</b> | 77,1          | 77,1          |
| <b>Indicateur 2</b> | 77,1          | 85,4          |
| <b>Indicateur 3</b> | 79,1          | 75            |
| <b>Indicateur 4</b> | 79,2          | 79,2          |
| <b>Indicateur 5</b> | 84,5          | 79,2          |

De manière générale, les cinq indicateurs semblent identifier les champs dans la même classe d'une année à l'autre (ou à une classe près), puisque tous possèdent un pourcentage de précision plutôt élevé, au-dessus de 75 %. Il est difficile d'identifier à ce stade un indicateur ou une période plus performants quant à la recherche de l'hétérogénéité structurale. Toutefois, on peut retenir que l'indicateur 2 (« moyenne saisonnière du LAI ») avec la période 2, et l'indicateur 5 (« rapport de la dispersion des valeurs saisonnières du LAI sur celle de la parcelle ») avec la période 1 possèdent un niveau de précision légèrement plus élevé que les autres.

### 5.1.2 Comparaison avec d'autres sources de données

Cette section confronte les champs identifiés hétérogènes ou homogènes par les indicateurs, avec les champs qui semblent hétérogènes ou homogènes selon d'autres sources de données.

#### 5.1.2.1 Facteurs

Au Tableau 11 sont présentées les données des axes de ruissellement, de la pédologie et de la topographie respective à chaque champ.

Tableau 11 : Identification de l'hétérogénéité d'un champ sur base de facteurs

| ID       | Axes de ruissellement               | Pédologie                                                |                                                                           | Topographie [Δm] |
|----------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------|
|          |                                     | Texture                                                  | Drainage                                                                  |                  |
| <b>0</b> | <i>0</i>                            | <i>A</i>                                                 | <i>b</i>                                                                  | 5,19             |
| <b>1</b> | <i>0</i>                            | <i>A</i>                                                 | <i>b</i>                                                                  | 7,87             |
| <b>2</b> | <i>0</i>                            | <i>A</i>                                                 | <i>b</i>                                                                  | 10,06            |
| <b>3</b> | <i>0</i>                            | <i>A</i> et <i>E-L-S</i> sur une petite zone             | <i>B</i> , <i>D</i> et <i>e</i> sur une petite zone                       | 18,03            |
| <b>4</b> | 2 axes <i>orange</i>                | <i>A</i>                                                 | <i>b</i> avec un peu de <i>D</i>                                          | 7,85             |
| <b>5</b> | <i>0</i>                            | <i>A</i>                                                 | <i>b</i> et une petite zone en <i>h</i>                                   | 7,59             |
| <b>6</b> | Zone complexe et 1 axe <i>rouge</i> | <i>A</i> et <i>NC</i> sur une petite zone                | <i>b</i> et une petite zone en <i>D</i> (et toujours une zone <i>NC</i> ) | 5,99             |
| <b>7</b> | <i>0</i>                            | <i>G</i> sur $\frac{3}{4}$ et <i>A</i> sur $\frac{1}{4}$ | <i>A</i> sur $\frac{3}{4}$ et <i>b</i> sur $\frac{1}{4}$                  | 8,03             |
| <b>8</b> | <i>0</i>                            | <i>A</i>                                                 | <i>b</i>                                                                  | 9,48             |
| <b>9</b> | <i>0</i>                            | <i>A</i>                                                 | <i>b</i>                                                                  | 8,43             |

|    |                                                                      |                                                       |                                                        |       |
|----|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| 10 | 0                                                                    | $A$                                                   | $b$                                                    | 4,62  |
| 11 | 0                                                                    | $A$                                                   | $b$ et un peu de $D$                                   | 8,24  |
| 12 | 1 axe <i>orange</i> et 1 très petit axe <i>bordeaux</i>              | $A$ et $S$ sur une petite zone                        | $b$                                                    | 12    |
| 13 | 1 axe <i>orange</i>                                                  | $A$                                                   | $b$                                                    | 7     |
| 14 | 1 petit axe <i>orange</i>                                            | $A$                                                   | $b$                                                    | 5,59  |
| 15 | 0                                                                    | $A$                                                   | $b$                                                    | 17,41 |
| 16 | 0                                                                    | $A$                                                   | $b$                                                    | 6,74  |
| 17 | 0                                                                    | $A$                                                   | $b$ et une petite zone en $c$                          | 6,42  |
| 18 | 3 axes <i>orange</i>                                                 | $A$                                                   | $b$                                                    | 12,43 |
| 19 | 0                                                                    | $A$                                                   | $b$ sur $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ $D$             | 4,43  |
| 20 | 0                                                                    | $A$ et $G$ sur une petite zone                        | $b$ et un peu de $A$                                   | 7,25  |
| 21 | 1 axe <i>bordeaux</i>                                                | $A$                                                   | $b$                                                    | 5,12  |
| 22 | 1 axe <i>rouge</i> puis devient <i>bordeaux</i>                      | $A$                                                   | $b$ et une petite zone en $d$                          | 4,51  |
| 23 | 1 axe <i>orange</i> qui devient <i>mauve</i> puis <i>rouge</i>       | $A$                                                   | $b$                                                    | 12,53 |
| 24 | 1 axe <i>orange</i> et 1 axe <i>orange</i> puis devient <i>mauve</i> | $A$                                                   | $b$                                                    | 9,03  |
| 25 | 0                                                                    | $A$                                                   | $b$                                                    | 6,77  |
| 26 | 0                                                                    | $A$                                                   | $b$                                                    | 18,13 |
| 27 | 0                                                                    | $A$ et $\frac{1}{4}$ en $NC$                          | $b$ et $\frac{1}{4}$ en $NC$                           | 15,27 |
| 28 | 2 axes <i>orange</i> et 1 <i>rouge</i>                               | $A$ et $S$ sur une petite zone                        | $b$ et une petite zone en $A$                          | 19,05 |
| 29 | 1 axe <i>mauve</i> qui se sépare en 2 axes <i>orange</i>             | $A$ , $\frac{1}{2}$ en $OE$ et une petite zone en $S$ | $b$ , $\frac{1}{2}$ en $OE$ et $D$ sur une petite zone | 20,7  |
| 30 | 0                                                                    | $A$                                                   | $b$                                                    | 3,19  |
| 31 | 1 axe <i>orange</i> sur une petite zone                              | $A$                                                   | $b$                                                    | 6,31  |
| 32 | 2 axes <i>orange</i>                                                 | $A$                                                   | $b$ et une grande partie en $D$                        | 18,1  |
| 33 | 2 axes <i>orange</i>                                                 | $A$                                                   | $b$ et une petite zone en $D$                          | 11,44 |
| 34 | 0                                                                    | $A$                                                   | $b$                                                    | 40,73 |

|    |                                                     |                                                                                |                                                 |       |
|----|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------|
| 35 | 1 axe <i>orange</i> une petite zone                 | <i>A</i>                                                                       | <i>b</i>                                        | 21    |
| 36 | 0                                                   | <i>A</i>                                                                       | <i>b</i>                                        | 5,39  |
| 37 | 0                                                   | <i>A</i>                                                                       | <i>b</i>                                        | 3,23  |
| 38 | 0                                                   | <i>A</i>                                                                       | <i>b</i>                                        | 4,56  |
| 39 | 0                                                   | <i>A</i>                                                                       | <i>b</i>                                        | 4,02  |
| 40 | 0                                                   | <i>A</i>                                                                       | <i>b</i> avec une toute petite zone en <i>h</i> | 5,88  |
| 41 | 1 petit axe <i>orange</i> passe sur une petite zone | <i>A</i>                                                                       | <i>b</i>                                        | 1,96  |
| 42 | 1 axe <i>orange</i> qui devient <i>mauve</i>        | <i>A</i>                                                                       | <i>b</i> avec une petite zone <i>D</i>          | 15,61 |
| 43 | 1 axe <i>orange</i>                                 | <i>A</i>                                                                       | <i>b</i>                                        | 1,54  |
| 44 | 1 axe <i>orange</i> et 1 axe <i>mauve</i>           | <i>A</i> et <i>S</i> sur une petite zone                                       | <i>b</i> avec <i>A</i> et <i>D</i>              | 2,2   |
| 45 | 0                                                   | <i>A</i>                                                                       | <i>b</i>                                        | 10,8  |
| 46 | 1 axe <i>orange</i> passe sur une petite zone       | <i>A</i> et <i>P</i> sur une petite zone et <i>E</i> sur une autre petite zone | <i>b</i> avec un peu <i>a</i> et <i>D</i>       | 15,27 |
| 47 | 1 axe <i>mauve</i> passe sur une petite zone        | <i>A</i>                                                                       | <i>b</i>                                        | 17,69 |

**Légende :**

**Axes de ruissellement concentré :**

*Orange* = Surface collectée en amont est entre 3-10 ha

*Mauve* = Surface collectée en amont est entre 10-20 ha

*Rouge* = Surface collectée en amont est entre 20-50 ha

*Bordeaux* = Surface collectée en amont est entre 50-100 ha

0 = Aucun axe ne passe dans la parcelle

*Zone complexe* = Incertitude sur la position exacte de l'axe de ruissellement

**Texture :**

*S* = Sable limoneux

*P* = Limon sableux léger

*L* = Limon sableux

*A* = Limon

*E* = Argile légère

*G* = Limon peu caillouteux

*OE* = Fosse d'extraction

*NC* = Non cartographié

**Drainage :***a* = Excessif*b* = Favorable (légèrement excessif)*c* = Modéré*d* = Imparfait*h* = Assez pauvre*A* = Excessif à imparfait*D* = Modéré à imparfait

Les champs de la zone étudiée sont diversifiés. Pour certains, aucun axe de ruissellement ne traverse le champ, la classe de texture et de drainage est homogène et le dénivelé peu élevé. Ces champs semblent donc homogènes, c'est le cas par exemple du champ 0. A l'inverse, certains champs sont traversés par plusieurs axes de ruissellement, possèdent plusieurs classes de texture et de drainage et/ou un grand dénivelé. Ces champs sont considérés hétérogènes, c'est le cas du champ 29.

## 5.1.2.2 La plateforme BELCAM

L'hétérogénéité de la parcelle selon les outils de BELCAM pour les deux années est présentée ci-dessous (Tableau 12). Notons qu'il est possible qu'un champ semble homogène une année et hétérogène l'autre année.

*Tableau 12 : Identification de l'hétérogénéité d'un champ sur base des outils BELCAM*

| <b>ID</b> | <b>2019</b>    | <b>2020</b>     |
|-----------|----------------|-----------------|
| <b>0</b>  | Homogène       | Homogène        |
| <b>1</b>  | Homogène       | Homogène        |
| <b>2</b>  | Homogène       | Homogène        |
| <b>3</b>  | Homogène       | Homogène        |
| <b>4</b>  | Homogène       | Hétérogène      |
| <b>5</b>  | Homogène       | Entre les deux  |
| <b>6</b>  | Homogène       | Homogène        |
| <b>7</b>  | Hétérogène     | Hétérogène      |
| <b>8</b>  | Homogène       | Hétérogène      |
| <b>9</b>  | Homogène       | Hétérogène      |
| <b>10</b> | Homogène       | Entre les deux  |
| <b>11</b> | Homogène       | Hétérogène      |
| <b>12</b> | Hétérogène     | Hétérogène      |
| <b>13</b> | Entre les deux | Plutôt homogène |
| <b>14</b> | Homogène       | Homogène        |
| <b>15</b> | Homogène       | Homogène        |
| <b>16</b> | Homogène       | Homogène        |
| <b>17</b> | Homogène       | Hétérogène      |



|    |                                          |                                          |
|----|------------------------------------------|------------------------------------------|
| 18 | Homogène                                 | Homogène                                 |
| 19 | Homogène                                 | Hétérogène                               |
| 20 | Homogène                                 | Hétérogène                               |
| 21 | Homogène                                 | Plutôt homogène                          |
| 22 | Homogène                                 | Homogène                                 |
| 23 | Homogène                                 | Entre les deux                           |
| 24 | Homogène                                 | Hétérogène                               |
| 25 | Homogène                                 | Plutôt homogène                          |
| 26 | Plutôt homogène                          | Hétérogène (deux cultures différentes ?) |
| 27 | Entre les deux                           | Homogène                                 |
| 28 | hétérogène                               | hétérogène                               |
| 29 | hétérogène                               | hétérogène                               |
| 30 | Plutôt homogène                          | Plutôt homogène                          |
| 31 | Homogène                                 | Homogène                                 |
| 32 | Homogène                                 | Homogène                                 |
| 33 | Plutôt Homogène                          | hétérogène                               |
| 34 | Hétérogène (deux cultures différentes ?) | Entre les deux, plutôt homogène          |
| 35 | Homogène                                 | Homogène                                 |
| 36 | Homogène                                 | Entre les deux                           |
| 37 | Homogène                                 | Homogène                                 |
| 38 | Homogène                                 | Homogène                                 |
| 39 | Homogène                                 | Entre les deux                           |
| 40 | Homogène                                 | Homogène                                 |
| 41 | Homogène                                 | Homogène                                 |
| 42 | Entre les deux                           | Homogène                                 |
| 43 | Homogène                                 | Homogène                                 |
| 44 | Homogène                                 | Homogène                                 |
| 45 | Homogène                                 | Hétérogène                               |
| 46 | hétérogène                               | homogène                                 |
| 47 | homogène                                 | homogène                                 |

Notons qu'il semblerait, en regardant les orthophotos, que pour les champs 26 et 34, deux cultures différentes seraient présentes lors d'une année, ce qui a pu fausser les résultats. Ces deux champs sont classés dans « plutôt hétérogène », alors qu'ils sont peut-être en réalité homogènes, en délimitant la parcelle selon la culture.

#### 5.1.2.3 Conclusion de l'hétérogénéité sur base d'autres sources

En résumé, en combinant les points 5.1.2.1 et 5.1.2.2 il est possible de classer les champs comme (les numéros font référence aux ID) :

Homogène : 0, 1, 2, 14, 16, 22, 31, 35, 37, 38, 40, 41, 43 et 47

Plutôt homogène : 5, 10, 13, 18, 21, 23, 25, 30, 36, 39, 42 et 44

Plutôt hétérogène : 4, 6, 8, 9, 11, 12, 15, 17, 19, 20, 24, 26, 27, 32, 33, 34, 45 et 46

Hétérogène : 3, 7, 28 et 29

Ci-dessous, le Tableau 13 reprend le nombre de discordances entre les indicateurs et les sources de données, pour chaque classe d'hétérogénéité.

*Tableau 13 : Nombre d'erreurs pour chaque indicateur à chaque période*

| N° de l'indicateur | Date                 | Très homogène | Homogène | Hétérogène | Très hétérogène | Total |
|--------------------|----------------------|---------------|----------|------------|-----------------|-------|
| 1                  | 1/03/19 au 30/10/19  | 0             | 1        | 6          | 4               | 11    |
|                    | 19/03/19 au 17/07/19 | 0             | 1        | 7          | 1               | 9     |
|                    | 1/03/20 au 30/10/20  | 2             | 0        | 1          | 1               | 4     |
|                    | 15/05/20 au 19/10/20 | 2             | 0        | 1          | 1               | 4     |
| 2                  | 1/03/19 au 30/10/19  | 2             | 1        | 8          | 4               | 15    |
|                    | 19/03/19 au 17/07/19 | 1             | 0        | 7          | 2               | 10    |
|                    | 1/03/20 au 30/10/20  | 2             | 2        | 3          | 1               | 8     |
|                    | 15/05/20 au 19/10/20 | 1             | 2        | 4          | 0               | 7     |
| 3                  | 1/03/19 au 30/10/19  | 0             | 1        | 3          | 1               | 5     |
|                    | 19/03/19 au 17/07/19 | 4             | 2        | 3          | 6               | 15    |
|                    | 1/03/20 au 30/10/20  | 2             | 0        | 1          | 1               | 4     |
|                    | 15/05/20 au 19/10/20 | 2             | 0        | 1          | 1               | 4     |
| 4                  | 1/03/19 au 30/10/19  | 2             | 2        | 3          | 2               | 9     |
|                    | 19/03/19 au 17/07/19 | 2             | 2        | 3          | 4               | 11    |
|                    | 1/03/20 au 30/10/20  | 0             | 1        | 6          | 2               | 9     |
|                    | 15/05/20 au 19/10/20 | 1             | 1        | 6          | 1               | 9     |
| 5                  | 1/03/19 au 30/10/19  | 3             | 0        | 7          | 1               | 11    |
|                    | 19/03/19 au 17/07/19 | 2             | 0        | 10         | 2               | 14    |
|                    | 1/03/20 au 30/10/20  | 1             | 0        | 2          | 0               | 3     |
|                    | 15/05/20 au 19/10/20 | 1             | 0        | 2          | 0               | 3     |

### 5.1.3 Discussion

En comparant les résultats de l'hétérogénéité des champs obtenus via les indicateurs et ceux sur base d'autres sources (Tableau 13), il apparaît qu'en 2019, tous les indicateurs semblent identifier plus difficilement le niveau d'hétérogénéité des champs par rapport à 2020. En 2019, c'est le froment d'hiver qui est mis en place sur les 48 champs. Au Tableau 12, en 2019, moins de champs ont été classés comme « hétérogène », le froment d'hiver met donc moins en évidence les variabilités d'une parcelle en comparaison avec la culture mise en place en 2020, soit la betterave sucrière. Cette constatation peut être expliquée par le fait que la betterave est



une culture exigeante (notamment vis-à-vis du phosphore et du potassium). Pour la recherche de l'hétérogénéité structurelle d'un champ, il convient donc de regarder une culture exigeante, dont la betterave sucrière semble en être un bon exemple.

Ensuite, en comparant les cinq indicateurs entre eux, trois sortent du lot : le 1, 3 et 5. Les indicateurs 2 et 4 semblent commettre plus d'erreurs. Ces deux indicateurs sont en lien direct avec la productivité d'un champ, puisque l'indicateur 2 (« moyenne saisonnière du LAI ») prend en compte la moyenne de la biomasse de chaque endroit de la parcelle sur une saison, et l'indicateur 4 (« maximum de la déviation absolue par rapport à la moyenne saisonnière du LAI ») regarde la différence maximale entre la biomasse d'un pixel à une date précise avec la moyenne de la biomasse sur une saison. Il se peut donc que ces deux indicateurs fonctionnent moins bien, car dépendants de la productivité de la parcelle.

Cependant, il est à noter qu'il est tout à fait possible qu'il y ait des erreurs dans les champs identifiés hétérogènes ou homogènes sur base d'autres sources de données, puisque cette classification s'est faite en partie sur une analyse visuelle (à l'aide d'orthophotos et d'images infrarouges), ce qui peut engendrer une certaine subjectivité. Il pourrait être intéressant de regarder des statistiques de rendements de la parcelle, ou en discuter directement avec les agriculteurs afin de vérifier le niveau d'hétérogénéité des différents champs observés. De plus, les seuils des quatre classes du niveau d'hétérogénéité des indicateurs ont été choisis arbitrairement sur base de statistiques (en prenant la moyenne et l'écart-type). Il conviendrait de trouver une méthode plus juste, qui colle mieux à la réalité. Toutefois, ces résultats donnent déjà une idée de la tendance générale.

Il est possible de comparer les résultats obtenus avec un autre indice d'hétérogénéité infraparcellaire, soit le coefficient de variation du LAI moyenné sur la période de maximum de végétation. Sur base de leur CV, les champs ont été classés du plus homogène (position = 1) au champ le plus hétérogène (position = 48) (Figure 26).

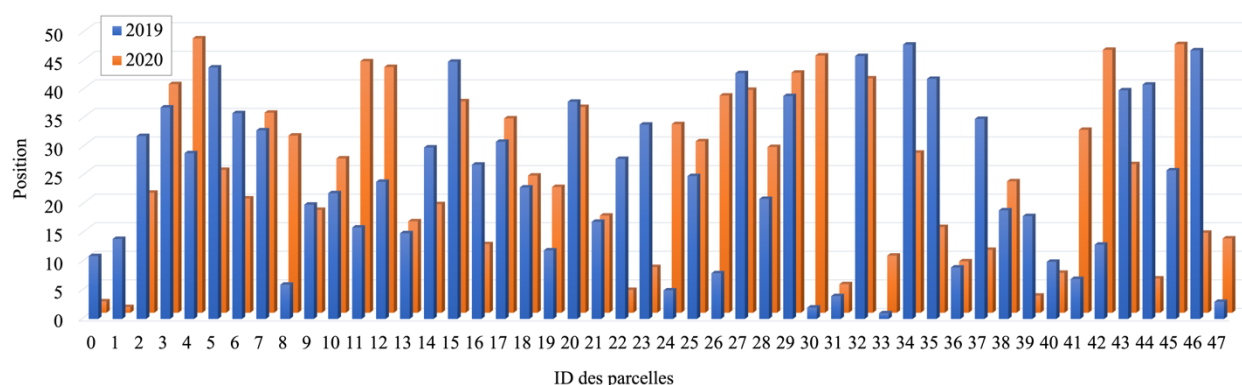


Figure 26 : Classement du champ le plus homogène (position = 1) au champ le plus hétérogène (position = 48) sur base du CV du LAI

Plusieurs champs ont une position faible dans le classement durant les deux années (les champs n°0, 1, 31, 33, 40 et 47), qui sont donc homogènes selon cet indice. D'autres ont une position élevée durant les deux années (les champs n°3, 7, 15, 20, 27, 29, 32), et sont alors hétérogènes.

Les autres champs ont une différence de classement trop importante entre les deux années pour pouvoir arriver à une conclusion. Les champs identifiés homogènes ou hétérogènes par cet indice l'étaient aussi selon d'autres sources de données. Le coefficient de variation du LAI moyenné sur la période de maximum de végétation est donc un bon indicateur pour les parcelles dont le classement est similaire d'une année à l'autre, par rapport aux autres sources de données.

Enfin, d'autres indicateurs pourraient être créés sur base d'autres indices végétaux, tels que le NDVI.

Bien que ces résultats soient cohérents avec les autres données observées, il aurait été pertinent d'utiliser des données pour plus de deux années, qui n'étaient cependant pas disponibles.

Enfin, l'année 2020 ayant été une année plus sèche en moyenne que 2019, il est possible que cela ait influencé les résultats obtenus pour chaque parcelle (Service Changements climatiques, 2021).

## 5.2 Écologie des parcelles agricoles

Dans cette section sont présentés les résultats de l'analyse multicritère. Les valeurs seuils des cotes de 0 à 3 de chaque critère selon chaque axe sont détaillées. Dans un premier temps, tous les axes respectifs aux prairies sont abordés, puis dans un second temps, ceux des champs. Enfin, une discussion abordera les limites de la méthode.

### 5.2.1 Prairie

#### 5.2.1.1 Axe « Taille »

Pour l'axe « Taille » des prairies, les seuils étant plutôt faibles, il semblerait que les prairies de la zone étudiée ont tendance à être de petite taille (Tableau 14).

Tableau 14 : Cotation du critère « Taille » des prairies

| Critère | Catégorie             | Cotation |
|---------|-----------------------|----------|
| Taille  | < 0,52 ha             | 3        |
|         | Entre 0,52 et 1,59 ha | 2        |
|         | > 1,59 ha             | 1        |

#### 5.2.1.2 Axe « Mare »

Pour rappel, pour cet axe, chaque critère est calculé dans un rayon de 500 m autour de chaque prairie.

Pour le premier critère « Proximité aux zones Natura 2000 », 81 % des prairies ont reçu une cote de 0, la grande majorité des prairies ne possèdent donc pas de zone Natura 2000 à moins de 500 m.

Pour les prairies qui ont une zone Natura 2000 à moins de 500 m, celle-ci représente une faible part de la zone tampon puisque les valeurs seuils de chaque catégorie sont petites (Tableau 15).

Tableau 15 : Cotation du critère « Proximité aux zones Natura 2000 » de l'axe « Mare » pour les prairies

| Critère                            | Catégorie            | Cotation |
|------------------------------------|----------------------|----------|
| Proximité aux zones<br>Natura 2000 | > 1,25 %             | 3        |
|                                    | Entre 0,32 et 1,25 % | 2        |
|                                    | < 0,32 %             | 1        |
|                                    | 0                    | 0        |

Pour le deuxième critère, « Proximité aux tritons crêtés », pour 92 % des prairies, aucun triton crêté n'a été observé dans un rayon de 500 m autour de la parcelle. Seuls 8 %, soit 264 prairies possèdent au moins une mare dans leur zone tampon, où au moins un triton crêté a été observé dans celle-ci (Tableau 16).

Tableau 16 : Cotation du critère « Proximité aux tritons crêtés » de l'axe « Mare » pour les prairies

| Critère                      | Catégorie                   | Cotation |
|------------------------------|-----------------------------|----------|
| Proximité aux tritons crêtés | > 3 spots de tritons crêtés | 3        |
|                              | 2 spots de tritons crêtés   | 2        |
|                              | 1 spot de tritons crêtés    | 1        |
|                              | 0 triton                    | 0        |

Notons que le fait qu'aucun triton crêté ait été observé ne signifie pas forcément que ceux-ci ne sont pas présents, mais qu'ils n'ont pas encore été observés. Il pourrait être intéressant de refaire cette même étude plus tard lorsqu'une mise à jour des données d'observation du triton crêté aura été effectuée.

De plus, une prairie qui a reçu une cote de 0 pour ce critère n'implique pas que, si on creuse une mare à sa surface, elle ne sera pas colonisée par le triton crêté. Ce critère signifie plutôt qu'une prairie qui possède une cote de 3 pour ce critère aura plus de chance que sa mare soit colonisée par le triton. Il se peut également que d'autres espèces viennent coloniser la mare.

Pour le critère « Proximité aux haies », seules trois prairies ne possèdent aucune haie dans leur zone tampon. Les valeurs seuils qui séparent les cotations 1, 2 et 3 sont reprises au Tableau 17.

Tableau 17 : Cotation du critère « Proximité aux haies » de l'axe « Mare » des prairies

| Critère             | Catégorie           | Cotation |
|---------------------|---------------------|----------|
| Proximité aux haies | > 9,4 km            | 3        |
|                     | Entre 5,8 et 9,4 km | 2        |
|                     | < 5,8 km            | 1        |
|                     | 0                   | 0        |

Il n'y a aucune forêt présente dans un rayon de 500 m pour 6 % des prairies. Parmi les autres 94 %, pour un tiers de ceux-ci, la forêt recouvre au minimum 19 % de la surface de la zone tampon (Tableau 18).

Tableau 18 : Cotation du critère « Proximité aux forêts » de l'axe « Mare » pour les prairies

| Critère              | Catégorie           | Cotation |
|----------------------|---------------------|----------|
| Proximité aux forêts | > 19,5 %            | 3        |
|                      | Entre 6,5 et 19,5 % | 2        |
|                      | < 6,5 %             | 1        |
|                      | 0                   | 0        |

Pour le critère qui concerne les arbres isolés, huit prairies ne possèdent aucun arbre isolé dans leur zone tampon. Les valeurs seuils séparant les cotations 1 à 3 sont répertoriées au Tableau 19.

*Tableau 19 : Cotation du critère « Proximité aux arbres isolés » de l'axe « Mare » pour les prairies*

| <b>Critère</b>              | <b>Catégorie</b>      | <b>Cotation</b> |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------|
| Proximité aux arbres isolés | > 80 arbres           | 3               |
|                             | Entre 46 et 80 arbres | 2               |
|                             | < 46 arbres           | 1               |
|                             | 0                     | 0               |

Toutes les prairies possèdent au minimum une autre prairie dans les alentours, donc aucune prairie n'a reçu la cote de 0 pour ce critère. Il apparaît que les prairies peuvent prendre une grande proportion de la surface de la zone tampon respective à chaque prairie, étant donné que les valeurs seuils au Tableau 20 sont élevées. Par exemple, pour un tiers des prairies, au minimum 38 % de leur zone tampon se trouve occupée par des prairies.

*Tableau 20 : Cotation du critère « Proximité aux prairies » de l'axe « Mare » pour les prairies*

| <b>Critère</b>         | <b>Catégorie</b>   | <b>Cotation</b> |
|------------------------|--------------------|-----------------|
| Proximité aux prairies | > 38 %             | 3               |
|                        | Entre 26,5 et 38 % | 2               |
|                        | < 26,5 %           | 1               |
|                        | 0                  | 0               |

Lorsqu'on agrège les différents critères, on trouve le résultat final de l'axe « Mare » (Figure 27).

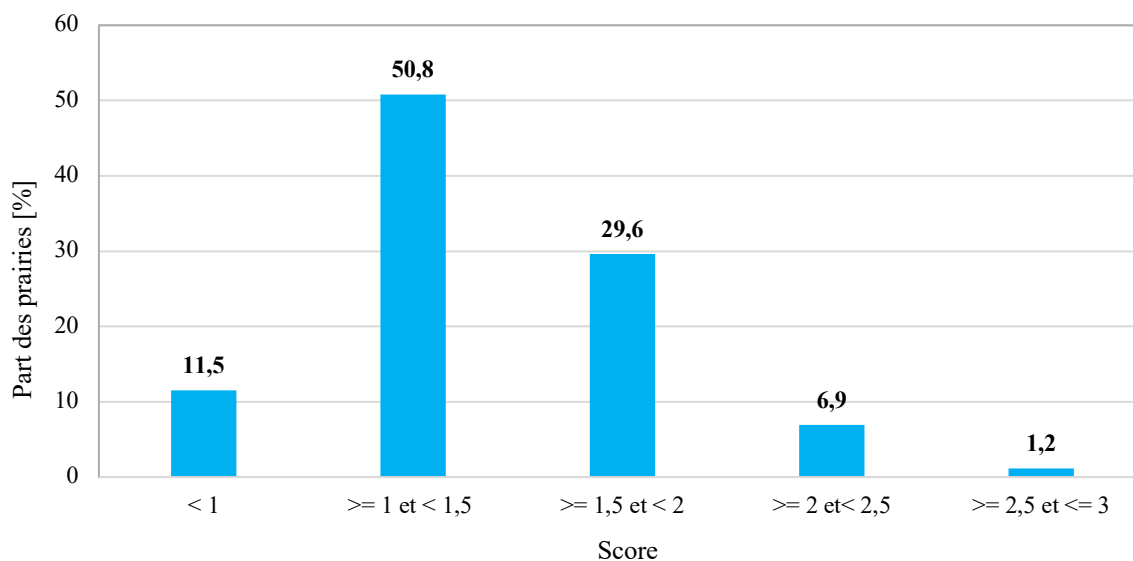


Figure 27 : Score de l'axe « Mare » pour les prairies

Peu de prairies ont un score élevé. Cela s'explique par le fait que les deux premiers critères sont déjà très contraignants puisque, pour ces critères, 81 % et 92 % des prairies ont reçu une cote de 0. De plus, ceux-ci possèdent un poids plus important que le reste des critères.

#### 5.2.1.3 Axe « Haies et arbres »

Pour rappel, pour cet axe la zone tampon est formée dans un rayon de 2 km.

Pour le premier critère « Proximité aux zones Natura 2000 » (Tableau 21), il y a 56 % des prairies qui possèdent une zone Natura 2000 dans leur zone tampon, donc 44 % des prairies possèdent un score de 0 pour ce critère.

Tableau 21 : Cotation du critère « Proximité aux zones Natura 2000 » de l'axe « Haies et arbres » pour les prairies

| Critère                         | Catégorie          | Cotation |
|---------------------------------|--------------------|----------|
| Proximité aux zones Natura 2000 | > 6,9 %            | 3        |
|                                 | Entre 1,6 et 6,9 % | 2        |
|                                 | < 1,6 %            | 1        |
|                                 | 0                  | 0        |

Pour les trois critères suivants, aucune prairie n'a reçu une cote de 0 pour l'un de ces critères. Autrement dit, chaque prairie a forcément des haies, des arbres et de la forêt à moins de 2 km. Les valeurs seuils de chaque critère sont répertoriées aux Tableaux 22, 23 et 24.

Tableau 22 : Cotation du critère « Proximité aux haies » de l'axe « Haies et arbres » pour les prairies

| Critère             | Catégorie             | Cotation |
|---------------------|-----------------------|----------|
| Proximité aux haies | > 86,4 km             | 3        |
|                     | Entre 65,9 et 86,4 km | 2        |
|                     | < 65,9 km             | 1        |
|                     | 0                     | 0        |

Tableau 23 : Cotation du critère « Proximité aux forêts » de l'axe « Haies et arbres » pour les prairies

| Critère              | Catégorie            | Cotation |
|----------------------|----------------------|----------|
| Proximité aux forêts | > 21,4 %             | 3        |
|                      | Entre 13,5 et 21,4 % | 2        |
|                      | < 13,5 %             | 1        |
|                      | 0                    | 0        |

Tableau 24 : Cotation du critère « Proximité aux arbres isolés » de l'axe « Haies et arbres » pour les prairies

| Critère                     | Catégorie               | Cotation |
|-----------------------------|-------------------------|----------|
| Proximité aux arbres isolés | > 728 arbres            | 3        |
|                             | Entre 525 et 728 arbres | 2        |
|                             | < 525 arbres            | 1        |
|                             | 0                       | 0        |

Finalement, 8,5 % des prairies ont obtenu un score maximum de 3. Ces prairies font alors partie des prairies qui ont le plus de forêts, de haies, d'arbres et de zones Natura 2000 dans leurs alentours, pour la zone étudiée. En comparaison avec l'axe « Mare », davantage de prairies ont des scores plus élevés (Figure 28).

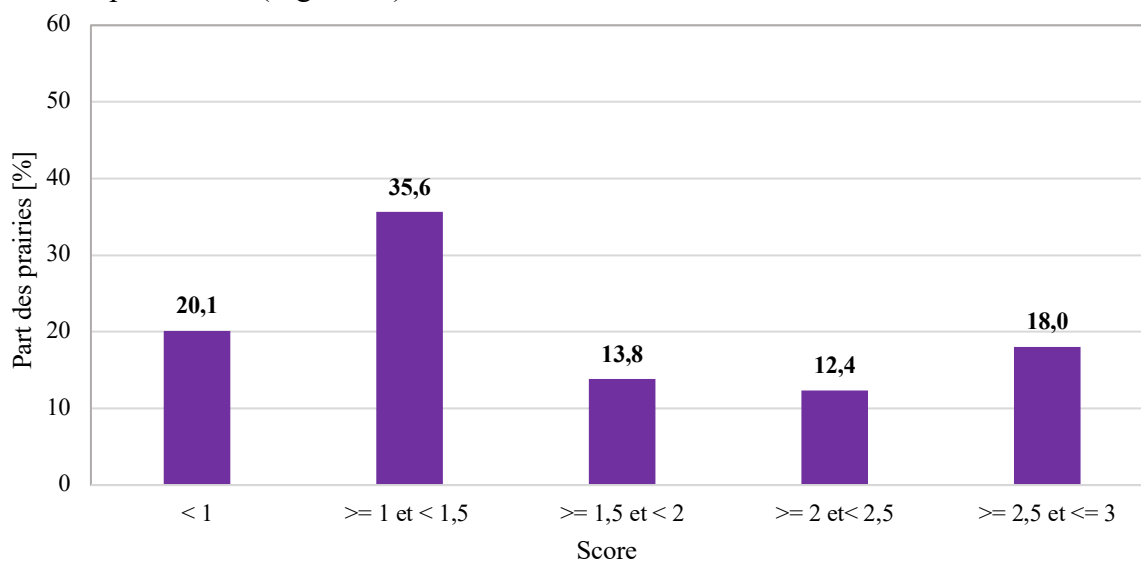


Figure 28 : Score de l'axe « Haies et arbres » pour les prairies

#### 5.2.1.4 Score final des prairies

On peut maintenant rassembler les trois axes en un unique critère d'évaluation du potentiel écologique relatif des prairies de la zone d'étude (Figure 29).

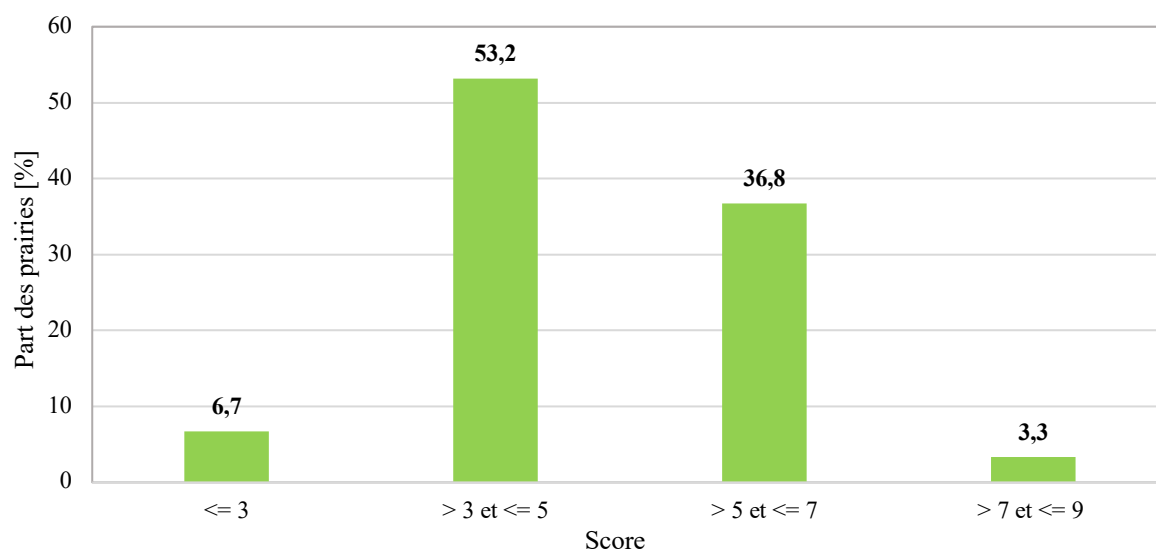


Figure 29 : Cotation finale du potentiel écologique relatif des prairies

Étant donné qu'il y a trois axes dont la cotation va de 0 à 3, le score final maximal est de 9. Aucune prairie n'a reçu ce score. Beaucoup de prairies ont reçu un score en dessous de 5, cela est sûrement dû au fait que pour l'axe « Mare » peu de prairies avaient obtenu un score élevé.

La majorité des prairies qui possèdent les scores les plus élevés se situent proches d'une zone Natura 2000 et/ou d'un spot de tritons crêtés (Figure 30). Ce qui paraît peu étonnant étant donné que ces critères sont ceux qui ont les plus gros poids. On voit apparaître un gradient des valeurs les plus élevées au nord et plus faible au sud de la zone étudiée.



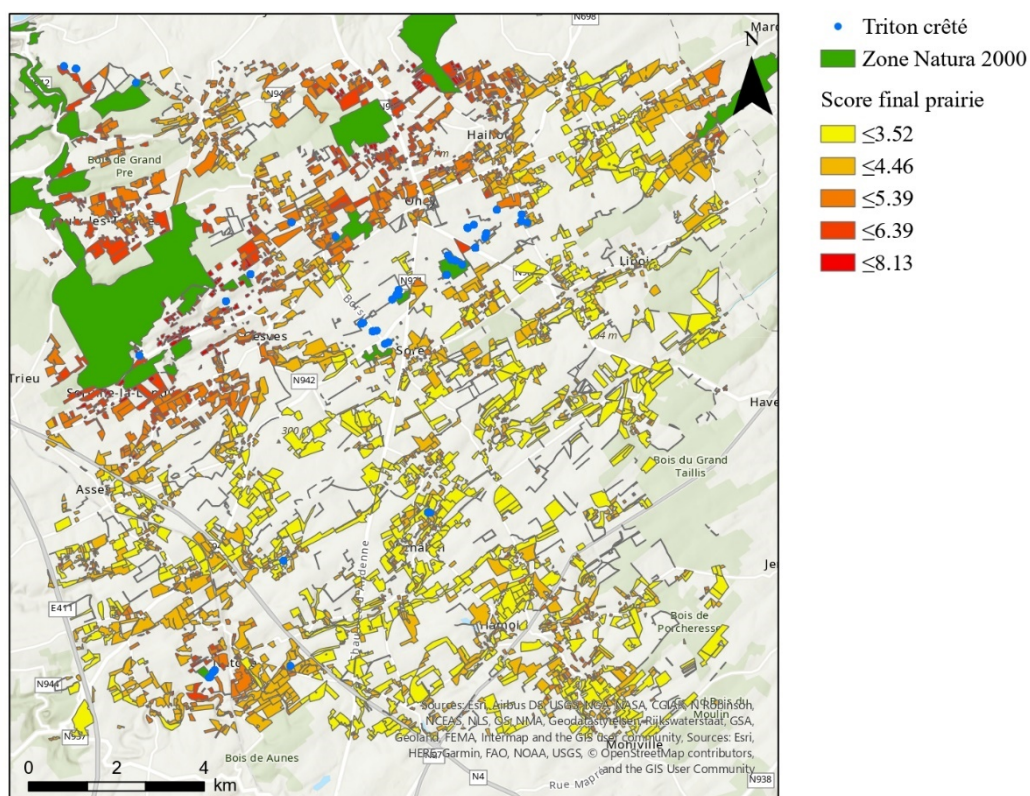


Figure 30 : Score final du potentiel écologique relatif des prairies

## 5.2.2 Champ

### 5.2.2.1 Taille

Dans la zone étudiée, les champs semblent également assez petits (Tableau 25).

Tableau 25 : Cotation du critère « Taille » pour les champs

| Critère | Catégorie            | Cotation |
|---------|----------------------|----------|
| Taille  | < 1,36 ha            | 3        |
|         | Entre 1,36 et 3,7 ha | 2        |
|         | > 3,7 ha             | 1        |

En effet, en comparant avec une autre source, un champ d'une taille en dessous de 4 ha semble déjà avoir un intérêt plus important en termes de biodiversité (Figure 31).

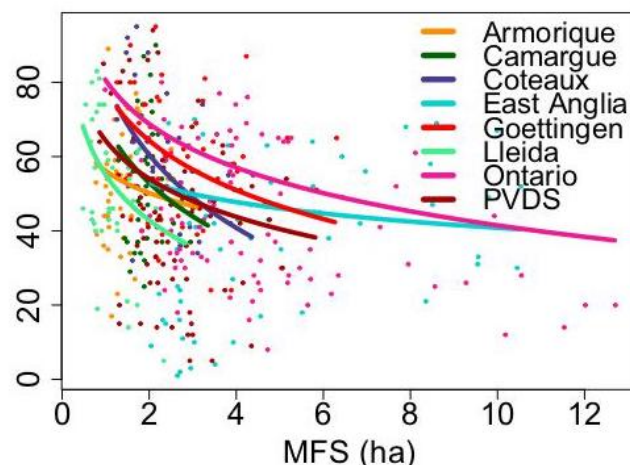


Figure 31 : Effet du MFS (Mean Field Size) sur la diversité multitrophique dans différentes régions (Sirami et al. 2019)

Donc, si un seuil de 4 ha avait été attribué pour la cotation de 3, un nombre bien plus important de parcelles aurait pu recevoir cette cote.

#### 5.2.2.2 Axe « Bandes aménagées »

Seulement 17 % des champs ont une zone Natura 2000 dans un rayon de 500 m. Le % de recouvrement de ces zones est plus important pour les champs que pour les prairies (Tableau 26).

Tableau 26 : Cotation du critère « Proximité aux zones Natura 2000 » de l'axe « Bandes aménagées » pour les champs

| Critère                         | Catégorie           | Cotation |
|---------------------------------|---------------------|----------|
| Proximité aux zones Natura 2000 | > 11,1 %            | 3        |
|                                 | Entre 3,2 et 11,1 % | 2        |
|                                 | < 3,2 %             | 1        |
|                                 | 0                   | 0        |

94 % des champs possèdent une forêt à moins de 500 m, donc 6 % des champs ont une cote de 0 pour le critère « Proximité aux forêts » (Tableau 27).

Tableau 27 : Cotation du critère « Proximité aux forêts » de l'axe « Bandes aménagées » pour les champs

| Critère              | Catégorie           | Cotation |
|----------------------|---------------------|----------|
| Proximité aux forêts | > 21,3 %            | 3        |
|                      | Entre 6,7 et 21,3 % | 2        |
|                      | < 6,7 %             | 1        |
|                      | 0                   | 0        |

Quatre champs ne possèdent pas de haies à proximité et ont reçu une cote de 0 pour le critère « Proximité aux haies » (Tableau 28).

Tableau 28 : Cotation du critère « Proximité aux haies » de l'axe « Bandes aménagées » pour les champs

| Critère             | Catégorie           | Cotation |
|---------------------|---------------------|----------|
| Proximité aux haies | > 7,1 km            | 3        |
|                     | Entre 3,8 et 7,1 km | 2        |
|                     | < 3,8 km            | 1        |
|                     | 0                   | 0        |

13 champs ne possèdent pas d'arbre isolé à proximité et ont reçu une cote de 0 pour le critère « Proximité aux arbres isolés » (Tableau 29).

Tableau 29 : Cotation du critère « Proximité aux arbres isolés » de l'axe « Bandes aménagées » pour les champs

| Critère                     | Catégorie             | Cotation |
|-----------------------------|-----------------------|----------|
| Proximité aux arbres isolés | > 56 arbres           | 3        |
|                             | Entre 26 et 56 arbres | 2        |
|                             | < 26 arbres           | 1        |
|                             | 0                     | 0        |

Pour le critère « Proximité aux bandes MC8 », 47 % des champs ne possèdent aucune bande MC8 à proximité (Tableau 30).

Tableau 30 : Cotation du critère « Proximité aux bandes MC8 » de l'axe « Bandes aménagées » pour les champs

| Critère                  | Catégorie    | Cotation |
|--------------------------|--------------|----------|
| Proximité aux bandes MC8 | > 4 bandes   | 3        |
|                          | 3 bandes     | 2        |
|                          | < 2 bandes   | 1        |
|                          | Aucune bande | 0        |

Finalement, pour l'axe « Bandes aménagées », la majorité des champs possèdent une cote entre 1 et 1,5 (Figure 32).

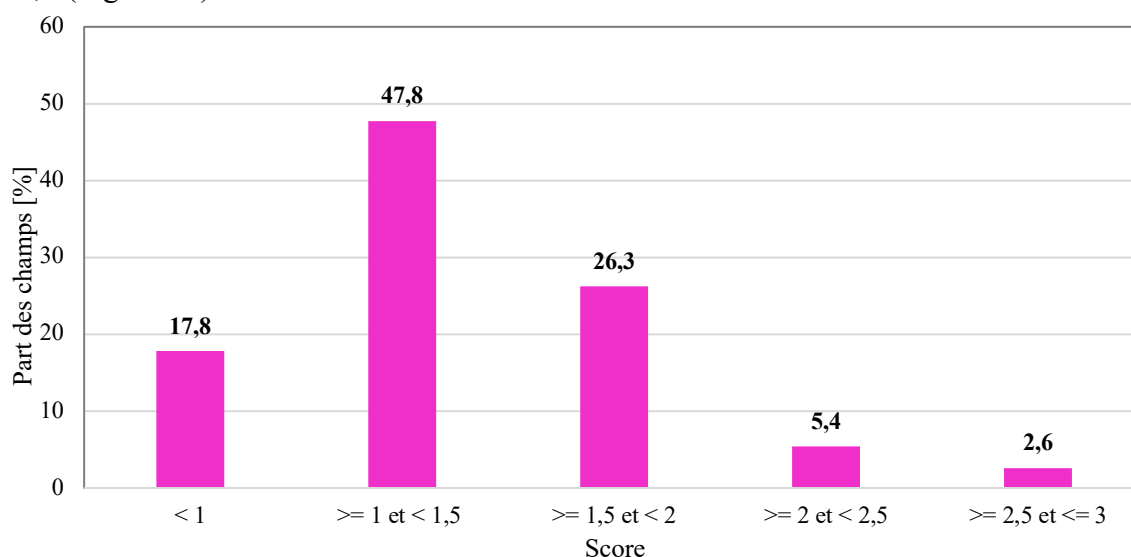


Figure 32 : Score de l'axe « Bandes aménagées »

#### 5.2.2.3 Axe « Haies et arbres »

Pour le critère « Proximité aux zones Natura 2000 », 55 % des champs possèdent une zone Natura 2000 dans un rayon de 2 km (Tableau 31).

Tableau 31 : Cotation du critère « Proximité aux zones Natura 2000 » de l'axe « Haies et arbres » pour les champs

| Critère                         | Catégorie          | Cotation |
|---------------------------------|--------------------|----------|
| Proximité aux zones Natura 2000 | > 4,3 %            | 3        |
|                                 | Entre 1,2 et 4,3 % | 2        |
|                                 | < 1,2 %            | 1        |
|                                 | 0                  | 0        |

Pour les trois critères suivants, aucune prairie n'a reçu une cote de 0 pour un de ces critères. Autrement dit, chaque champ a des haies, des arbres et de la forêt dans un rayon de 2 km. Les valeurs seuils sont répertoriées aux Tableaux 32 à 34.

Tableau 32 : Cotation du critère « Proximité aux haies » de l'axe « Haies et arbres » pour les champs

| Critère             | Catégorie             | Cotation |
|---------------------|-----------------------|----------|
| Proximité aux haies | > 84,2 km             | 3        |
|                     | Entre 64,7 et 84,2 km | 2        |
|                     | < 64,7 km             | 1        |
|                     | 0                     | 0        |

Tableau 33 : Cotation du critère « Proximité aux forêts » de l'axe « Haies et arbres » pour les champs

| Critère              | Catégorie | Cotation |
|----------------------|-----------|----------|
| Proximité aux forêts | > 19,4 %  | 3        |

|  |                      |   |
|--|----------------------|---|
|  | Entre 12,4 et 19,4 % | 2 |
|  | < 12,4 %             | 1 |
|  | 0                    | 0 |

Tableau 34 : Cotation du critère « Proximité aux arbres isolés » de l'axe « Haies et arbres » pour les champs

| Critère                     | Catégorie               | Cotation |
|-----------------------------|-------------------------|----------|
| Proximité aux arbres isolés | > 699 arbres            | 3        |
|                             | Entre 496 et 699 arbres | 2        |
|                             | < 496 arbres            | 1        |
|                             | 0                       | 0        |

Finalement, en regardant les résultats de l'axe « Haies et arbres » pour les champs, 7,2 % des champs ont reçu un score maximal de 3 (Figure 33).

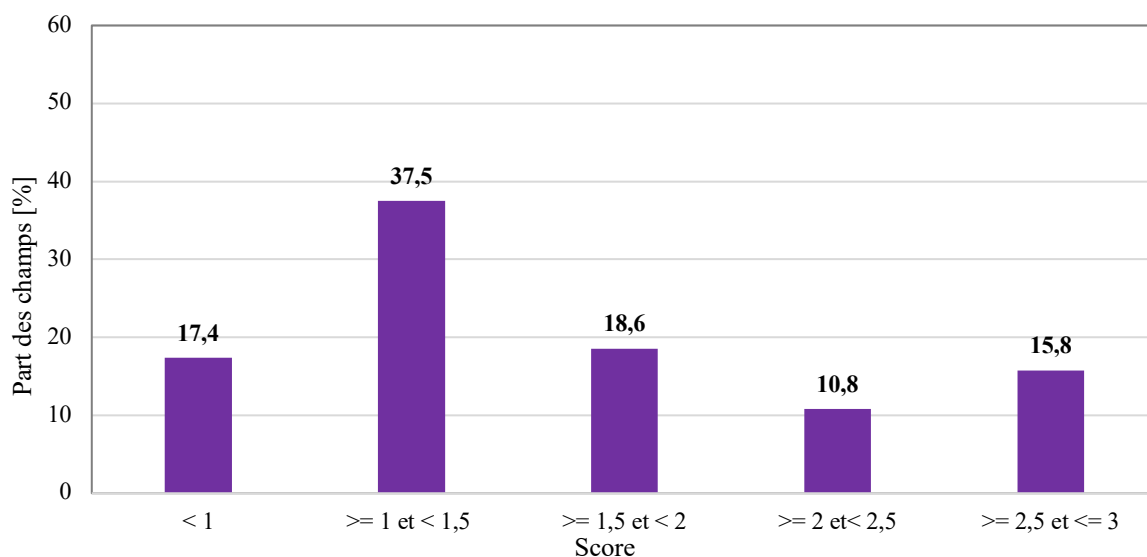


Figure 33 : Score de l'axe « Haies et arbres » pour les champs

#### 5.2.2.4 Score final des champs

Finalement, ci-dessous, le score final du potentiel écologique des champs (Figure 34).

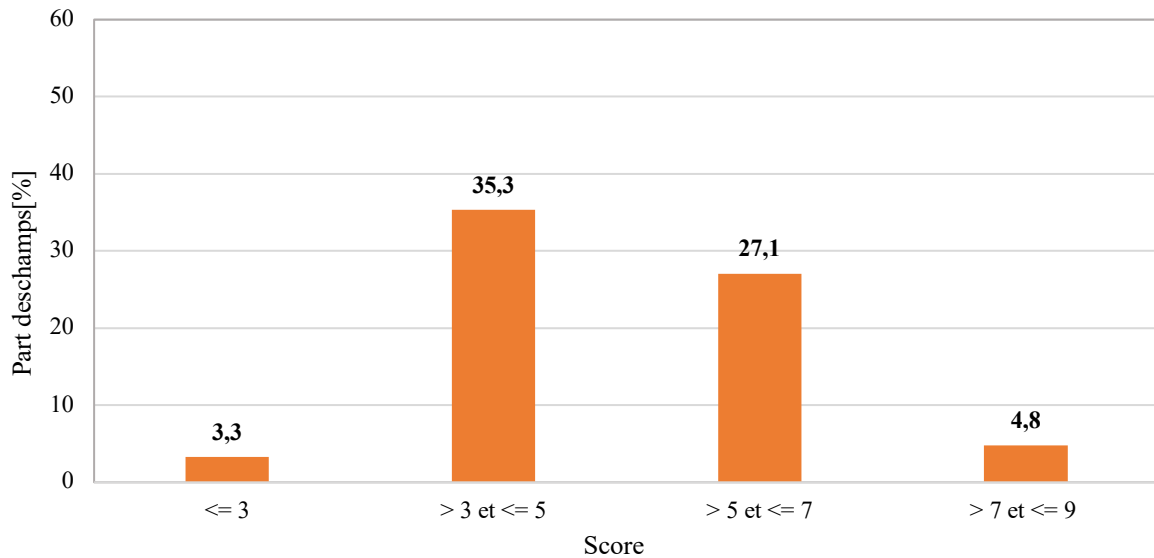


Figure 34 : Cotation finale du potentiel écologique relatif des champs

En comparant avec les résultats obtenus pour les prairies, il y a plus de parcelles de champs qui possèdent des scores très élevés ( $> 7$  et  $\leq 9$ ) que pour les parcelles de prairies. Et, plus de parcelles de prairies possèdent des scores très faibles ( $\leq 3$ ).

Si on cartographie les résultats, on obtient toujours un gradient nord-sud. Les champs qui ont les scores plus élevés se situent toujours près des zones Natura 2000 (Figure 35).

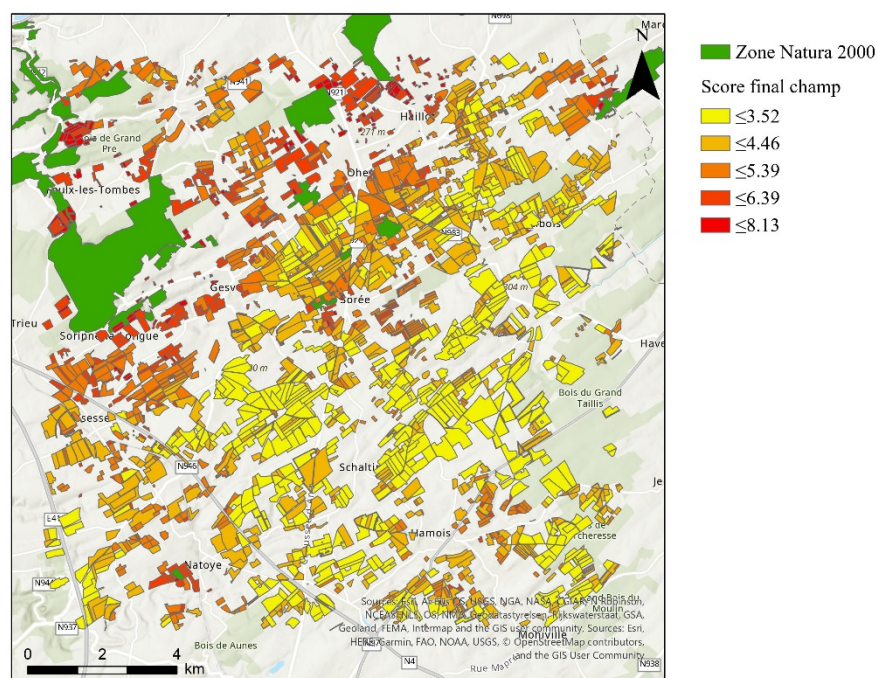


Figure 35 : Score final du potentiel écologique relatif des champs

### 5.2.3 Discussion

La méthode utilisée pour évaluer le potentiel écologique relatif des parcelles présente quelques limites.

Tout d'abord, les éléments de coupure n'ont pas été pris en compte. Par exemple, lorsqu'on regarde la proximité aux zones Natura 2000, si une grande route sépare la parcelle de la zone Natura 2000, l'obstacle qu'elle représente ne sera pas pris en compte. Or, en réalité les espèces ne traverseront pas forcément la grande route pour aller de la prairie à la réserve.

Ensuite, pour les cotes de 1 à 3 de chaque critère, comme décrit dans la méthodologie, les parcelles ont chaque fois été divisées en trois groupes égaux. Cependant, d'autres valeurs seuils davantage en accord avec la réalité pourraient être pensées. Il conviendrait par exemple de faire des études plus poussées sur les besoins en termes d'habitat de chaque espèce et déterminer les valeurs seuils en fonction. Il conviendrait également d'appliquer la méthode à plusieurs espèces par MAEC.

De plus, plusieurs zones Natura 2000, zones forestières, ou encore un grand réseau de haies se retrouvent dans la zone étudiée. Ainsi, si on appliquait cette même méthode à l'échelle de la Wallonie, il se pourrait que les scores obtenus soient plus faibles, impliquant donc que la zone étudiée a un potentiel écologique important par rapport au reste de la Wallonie. On pourrait donc penser à faire cette étude sur une zone plus large.

Une façon d'améliorer les résultats serait pour le critère « Proximité aux zones Natura 2000 » de regarder les UG des zones Natura 2000. En effet comme décrit dans la partie « Synthèse

bibliographique », les UG n'ont pas les mêmes valeurs biologiques. Il conviendrait d'accorder un poids différent en fonction de l'UG.

Il faudrait accompagner les résultats obtenus d'études de terrain, afin de voir si techniquement la mise en place de la MAEC est possible.

Il conviendrait également de valider les résultats obtenus. Par exemple, des experts pourraient définir quelle(s) MAEC installer sur les parcelles de la zone étudiée, ces données seraient ensuite comparées avec les résultats obtenus. Une autre manière serait de voir quelles MAEC sont déjà mises en place sur les parcelles étudiées.

Enfin, pour pousser l'analyse encore plus loin, il serait intéressant de combiner ce travail avec d'autres études présentées dans la littérature. Ce travail a défini le potentiel écologique d'une parcelle agricole en fonction des éléments paysagers autour de celle-ci, donc en combinant avec des éléments propres à la parcelle (charge en bétail, types de cultures, utilisation de produits phytosanitaires, etc.) cela permettrait d'avoir une vision plus complète du potentiel écologique de la parcelle.



## 6 Conclusion

Ce mémoire avait pour but principal de fournir un outil d'aide aux agriculteurs à travers la plateforme BELCAM. Ce travail est divisé en deux parties, avec chacune son propre objectif.

La première partie avait pour but de comparer cinq indicateurs créés sur base de statistiques du LAI afin de voir la capacité de chaque indicateur à qualifier l'hétérogénéité d'une parcelle agricole.

Les indicateurs ont été testés durant les années 2019 et 2020, sur deux périodes. La première va de mars à octobre et la seconde comprend les dates où le LAI est élevé, ce qui dépend de la culture mise en place. En 2019, la culture est le froment d'hiver et en 2020 la betterave sucrière. Enfin, les parcelles ont été réparties en quatre classes en fonction de leur niveau d'hétérogénéité.

En comparant les résultats obtenus avec d'autres sources de données, il en ressort que les indicateurs : « déviation absolue par rapport à la moyenne saisonnière du LAI », « maximum de la déviation absolue par rapport à la moyenne instantanée du LAI » et « rapport de la dispersion des valeurs saisonnières du LAI sur celle de la parcelle » semblent mieux qualifier l'hétérogénéité intraparcellaire. Les deux périodes testées donnent des résultats similaires. Enfin, l'hétérogénéité d'une parcelle est plus distincte lors de la culture de betterave que pour le froment d'hiver.

Pour aller plus loin, il conviendrait de classer les parcelles agricoles selon leur niveau d'hétérogénéité par une approche par *clustering*. D'autres indices végétaux pourraient également être utilisés, comme le NDVI. Enfin, une autre manière de valider les résultats serait de confronter les résultats avec des données réelles, auprès d'agriculteurs, et de comparer les cartes obtenues avec des statistiques de rendement.

La seconde partie avait pour objectif d'évaluer le potentiel écologique relatif d'une parcelle agricole à installer une mesure agroenvironnementale et climatique, en se basant sur l'habitat et la distance de dispersion d'une espèce animale choisie.

La méthode se base sur l'analyse multicritère. Les critères sont divisés en quatre axes, soit la taille des parcelles, les mares, les bandes aménagées et les haies et arbres. Les espèces choisies pour les trois derniers axes sont respectivement le triton crêté, le bourdon et le bruant jaune.

Chaque parcelle a reçu un score pour chaque axe allant de 0 à 3 et un score final de potentiel écologique relatif allant de 0 à 9. En cartographiant les résultats, il en ressort que les parcelles qui possèdent un score élevé se situent proches des critères qui ont des plus grands poids tels que les zones Natura 2000 ou les spots de tritons crêtés.

Pour aller plus loin, il conviendrait de regarder spécifiquement les besoins en termes d'habitat de chaque espèce pour mettre des valeurs seuil pour chaque critère, qui collent mieux à la réalité. Il pourrait aussi être utile de prendre en compte des éléments de coupure tels que les autoroutes.

## 7 Bibliographie

- Agence Européenne pour l'environnement (2015). *Agriculture et changement climatique*. Consulté le 13 octobre 2021, à l'adresse, <https://www.eea.europa.eu/fr/signaux/signaux-2015/articles/agriculture-et-changement-climatique>
- Ahamed, T., Tian, L., Zhang, Y., & Ting, K. C. (2011). A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 2455–2469. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.028>.
- ASE (s.d.) - Eduspace FR - Accueil - Qu'est-ce que la télédétection ?. Consulté le 20 octobre 2021, à l'adresse [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_FR/SEMP4O1P0WF\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_FR/SEMP4O1P0WF_0.html)
- Baret, F., Houle's, V., & Guérif, M. (2007). Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: The case of nitrogen management. *Journal of Experimental Botany*, 58(4), 869–880. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl231>.
- BELgian Collaborative Agriculture Monitoring. (s. d.). BELCAM. Consulté le 20 octobre 2021, à l'adresse <http://www.belcam.info>
- Conseil européen (2021, 2 décembre). *Le Conseil adopte une politique agricole plus juste, plus verte et davantage fondée sur les résultats pour la période 2023–2027*. Consulté le 12 avril 2022, à l'adresse <https://www.consilium.europa.eu/fr/press/press-releases/2021/12/02/council-adopts-fairer-greener-and-more-performance-based-farming-policy-for-2023-2027/>
- Conseil européen (2022, 21 mars). *Politique agricole commune 2023–2027*. Consulté le 12 avril 2022, à l'adresse <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/cap-introduction/cap-future-2020-common-agricultural-policy-2023-2027/>
- Cristofoli, S., & Mahy, G. (2010). Restauration écologique: contexte, contraintes et indicateurs de suivi. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 14(1), 203-211.
- de Rudnicki, V. (2009, April). La variabilité intra-parcellaire: évaluation, conséquences sur la qualité de la récolte et potentialités. In *ENOFORUM* (p. 10).
- Dirick, D. (2017) *L'étude de la variabilité spatio-temporelle de parcelles de légumes exploitées par Hesbaye Frost*.

- Duchemin, B., Hadria, R., Erraki, S., Boulet, G., Maisongrande, P., Chehbouni, A., ... & Simonneaux, V. (2006). Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: On the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. *Agricultural Water Management*, 79(1), 1-27.
- Duveiller, G., Weiss, M., Baret, F., & Defourny, P. (2011). Retrieving wheat Green Area Index during the growing season from optical time series measurements based on neural network radiative transfer inversion. *Remote sensing of environment*, 115(3), 887-896.
- Georgi, C., Spengler, D., Itzerott, S., & Kleinschmit, B. (2017). Automatic delineation algorithm for site-specific management zones based on satellite remote sensing data. *Precision Agriculture*, 19(4), 684-707. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9549-y>
- Hank, T., Bach, H., & Mauser, W. (2015). Using a remote sensing-supported hydro-agroecological model for field-scale simulation of heterogeneous crop growth and yield: Application for wheat in Central Europe. *Remote Sensing*, 7(4), 3934–3965. <https://doi.org/10.3390/rs70403934>.
- Jullien, A., & Huet, P. (2005). Agriculture de précision. *Agricultures et territoires*, Lavoisier, Paris, France, 223-238
- Jones, H. G., & Vaughan, R. A. (2010). Remote sensing of vegetation. New York: Oxford University Press.
- Kergomard, C. (1990). La télédétection aérospatiale: une introduction. *Cours de télédétection*, Ecole Normale Supérieure Paris.
- Le Bris, C., Le Coeur, D., & Thenail, C. (2010). *Un indicateur de qualité écologique des bordures de champs, en plaine céréalière*(No. hal-01458616).
- Leroux, Corentin & Tisseyre, Bruno. (2019). How to measure and report within-field variability: a review of common indicators and their sensitivity. *Precision Agriculture*. 20. [10.1007/s11119-018-9598-x](https://doi.org/10.1007/s11119-018-9598-x).
- Lobell, D. B., Thau, D., Seifert, C., Engle, E., & Little, B. (2015). A scalable satellite-based crop yield mapper. *Remote Sensing of Environment*, 164, 324–333. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.021>.
- Mestelan, P., & De Sainte Marie, C. (2007). Juste quatre fleurs pour évaluer la qualité écologique des prairies. *Espaces naturels*, (20), 22-23.

- Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture : Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358-371. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>
- Natagriwal (Article en préparation). Indicateurs de pratiques favorables à la – biodiversité dans les exploitations agricoles.
- Ostyn, S., & Lens, L. (2016). The Use of Cereal Winter Food Plots by the Threatened Yellowhammer *Emberiza Citrinella*. *Master of Science in Biology. Universiteit Gent*.
- Reidsma, P., Tekelenburg, T., Van den Berg, M., & Alkemade, R. (2006). Impacts of land-use change on biodiversity: An assessment of agricultural biodiversity in the European Union. *Agriculture, ecosystems & environment*, 114(1), 86-102.
- Ren, J., Li, S., Chen, Z., Zhou, Q., & Tang, H. (2007). Regional yield prediction for winter wheat based on crop biomass estimation using multi-source data. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2007* (pp 805–808). New York, USA.
- Rouquié, B., Hagolle, O., Bréon, F.-M., Boucher, O., Desjardins, C., & Rémy, S. (2017). Using Copernicus Atmosphere Monitoring Service Products to Constrain the Aerosol Type in the Atmospheric Correction Processor MAJA. *Remote Sensing*, 9(12), 1230. <https://doi.org/10.3390/rs9121230>
- Santaga, F. S., Agnelli, A., Leccese, A., & Vizzari, M. (2021). Using Sentinel-2 for Simplifying Soil Sampling and Mapping : Two Case Studies in Umbria, Italy. *Remote Sensing*, 13(17), 3379. <https://doi.org/10.3390/rs13173379>
- Serrano, L., Filella, I., & Pen, J. (2000). Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Science*, 40, 723–731.
- Service Changements climatiques. (2021, 6 janvier). *2020, année de tous les records en Belgique*. Klimaat | Climat. Consulté le 2 juin 2022, à l'adresse <https://climat.be/actualites/2021/2020-annee-de-tous-les-records-en-belgique>
- Sirami, C., Gross, N., Baillod, A. B., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., Henckel, L., Miguët, P., Vuillot, C., Alignier, A., Girard, J., Batáry, P., Clough, Y., Violle, C., Giralt, D., Bota, G., Badenhauer, I., Lefebvre, G., Gauffre, B., Fahrig, L. (2019). Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(33), 16442-16447. <https://doi.org/10.1073/pnas.1906419116>

- Spotifarm (2021, 7 juillet). *Agriculture de précision : lexique et définitions*. Consulté le 4 juin 2022, à l'adresse <https://blog.spotifarm.fr/tour-de-plaine-spotifarm/lexique-agriculture-de-precision-definition-glossaire>
- Todoroff, P. (2020). *Du millimètre au kilomètre: assimiler l'hétérogénéité spatiale dans une agronomie du paysage au service d'une agriculture durable* (Doctoral dissertation, Université de la Réunion).
- Tom Langton, Catherine Beckett et Jim Foster (2001). Handbook, C. Great Crested Newt.
- Wallonie (2022, 17 janvier). *Politique agricole commune 2023–2027 : la Région a défini ses orientations stratégiques*. Consulté le 12 avril 2022, à l'adresse <https://www.wallonie.be/fr/actualites/politique-agricole-commune-2023-2027-la-region-defini-ses-orientations-strategiques>
- « WalOnMap | Géoportail de la Wallonie ». s. d. Consulté le 16 octobre 2021m à l'adresse <http://geoportail.wallonie.be/walonmap>.
- Weiss, M. & Baret, F. (1999). Evaluation of canopy biophysical variable retrieval performances from the accumulation of large swath satellite data. *Remote Sens. Environ.* 70, 293–306.
- Wolf, S., & Moritz, R. F. (2008). Foraging distance in *Bombus terrestris* L.(Hymenoptera: Apidae). *Apidologie*, 39(4), 419-427.
- Yuzugullu, O., Lorenz, F., Fröhlich, P., & Liebisch, F. (2020). Understanding Fields by Remote Sensing : Soil Zoning and Property Mapping. *Remote Sensing*, 12(7), 1116. <https://doi.org/10.3390/rs12071116>

## 8 Annexes

### Annexe A : Graphes du LAI et du CV du LAI

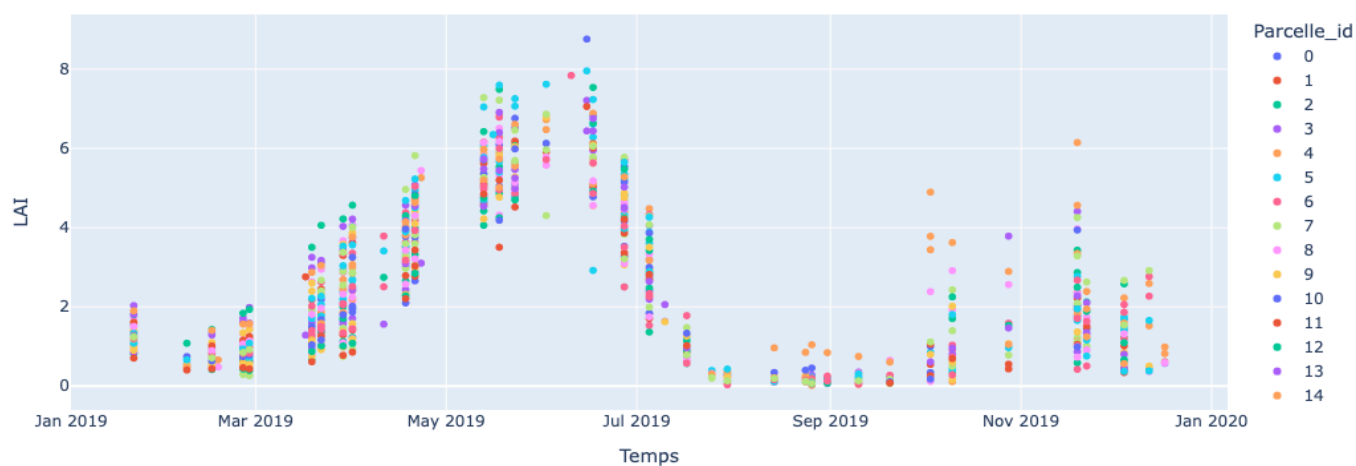


Figure A. 1 : Évolution du LAI en fonction de l'année 2019 pour les 48 parcelles

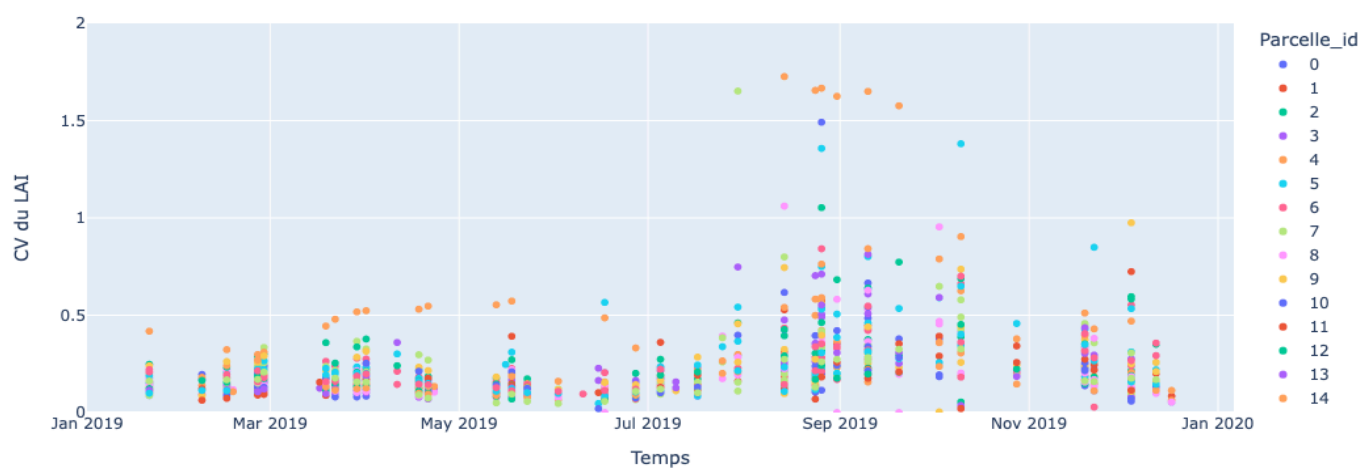


Figure A. 2 : Évolution du CV du LAI en fonction de l'année 2019 pour les 48 parcelles

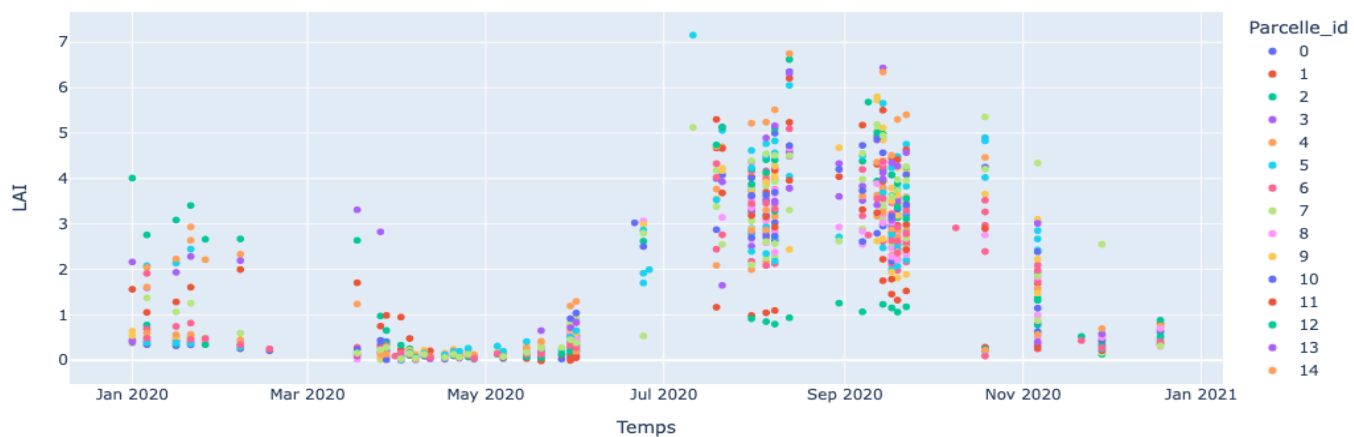


Figure A. 3 : Évolution du LAI en fonction de l'année 2020 pour les 48 parcelles

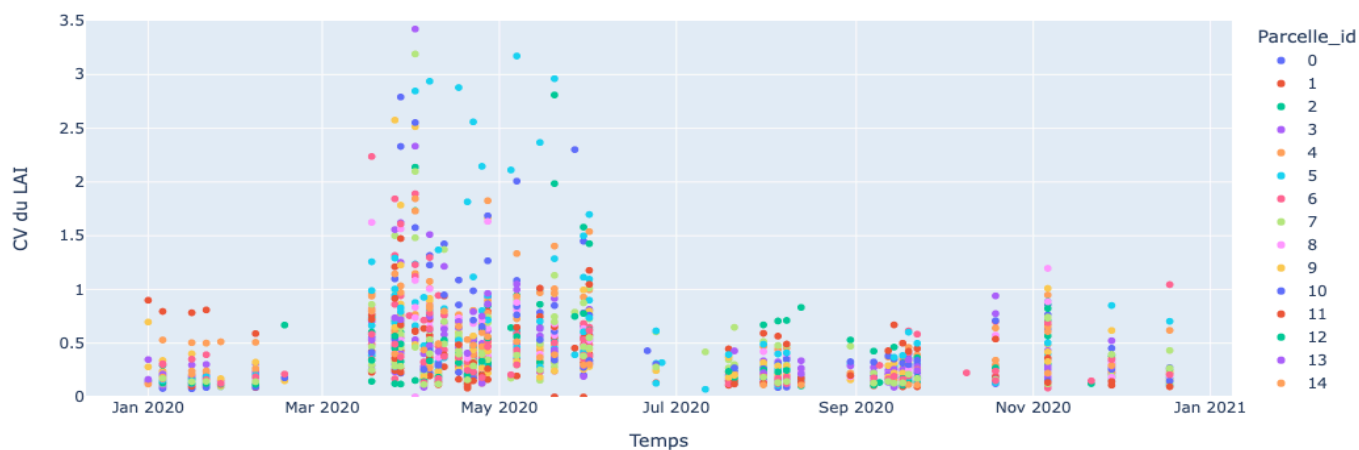


Figure A. 4 : Évolution du CV du LAI en fonction de l'année 2020 pour les 48 parcelles



## Annexe B : Suite des matrices de cooccurrence des indicateurs 2 à 5

- Indicateur 2

Tableau B. 1: Indicateur 2 avec la période 1

|      | 2020            |                 |            |          |               |       |
|------|-----------------|-----------------|------------|----------|---------------|-------|
|      | Classe          | Très hétérogène | Hétérogène | Homogène | Très homogène | Total |
| 2019 | Très hétérogène | 1               | 3          | 3        | 2             | 9     |
|      | Hétérogène      | 3               | 4          | 8        | 2             | 17    |
|      | Homogène        | 3               | 6          | 5        | 1             | 15    |
|      | Très homogène   | 0               | 1          | 4        | 2             | 7     |
|      | Total           | 7               | 14         | 20       | 7             | 96    |

Identifié dans la même classe : 25 %

Identifié avec une erreur d'une classe : 52,1 %

Identifié avec une erreur de deux classes : 18,8 %

Identifié avec une erreur de trois classes : 4,2 %

Tableau B. 2 : Indicateur 2 avec la période 2

|      | 2020            |                 |            |          |               |       |
|------|-----------------|-----------------|------------|----------|---------------|-------|
|      | Classe          | Très hétérogène | Hétérogène | Homogène | Très homogène | Total |
| 2019 | Très hétérogène | 1               | 2          | 3        | 0             | 6     |
|      | Hétérogène      | 3               | 8          | 8        | 0             | 19    |
|      | Homogène        | 3               | 6          | 6        | 4             | 19    |
|      | Très homogène   | 0               | 1          | 1        | 2             | 4     |
|      | Total           | 7               | 17         | 18       | 6             | 96    |

Identifié dans la même classe : 35,4 %

Identifié avec une erreur d'une classe : 50 %

Identifié avec une erreur de deux classes : 14,6 %

Identifié avec une erreur de trois classes : 0 %

- Indicateur 3

Tableau B. 3 : Indicateur 3 avec la période 1

|      | 2020            |                 |            |           |               |           |
|------|-----------------|-----------------|------------|-----------|---------------|-----------|
|      | Classe          | Très hétérogène | Hétérogène | Homogène  | Très homogène | Total     |
| 2019 | Très hétérogène | 1               | 4          | 4         | 1             | 10        |
|      | Hétérogène      | 1               | 3          | 5         | 1             | 10        |
|      | Homogène        | 3               | 5          | 11        | 0             | 19        |
|      | Très homogène   | 0               | 1          | 8         | 0             | 9         |
|      | <b>Total</b>    | <b>5</b>        | <b>13</b>  | <b>28</b> | <b>2</b>      | <b>96</b> |

Identifié dans la même classe : 31,3 %

Identifié avec une erreur d'une classe : 47,9 %

Identifié avec une erreur de deux classes : 18,8 %

Identifié avec une erreur de trois classes : 2,1 %

Tableau B. 4 : Indicateur 3 avec la période 2

|      | 2020            |                 |            |           |               |           |
|------|-----------------|-----------------|------------|-----------|---------------|-----------|
|      | Classe          | Très hétérogène | Hétérogène | Homogène  | Très homogène | Total     |
| 2019 | Très hétérogène | 1               | 2          | 4         | 1             | 8         |
|      | Hétérogène      | 3               | 5          | 8         | 1             | 17        |
|      | Homogène        | 3               | 2          | 6         | 3             | 14        |
|      | Très homogène   | 3               | 0          | 2         | 4             | 9         |
|      | <b>Total</b>    | <b>10</b>       | <b>9</b>   | <b>20</b> | <b>9</b>      | <b>96</b> |

Identifié dans la même classe : 33,3 %

Identifié avec une erreur d'une classe : 41,7 %

Identifié avec une erreur de deux classes : 16,7 %

Identifié avec une erreur de trois classes : 8,3 %

- Indicateur 4

Tableau B. 5 : Indicateur 4 avec la période 1

|      | 2020            |                 |            |           |               |           |
|------|-----------------|-----------------|------------|-----------|---------------|-----------|
|      | Classe          | Très hétérogène | Hétérogène | Homogène  | Très homogène | Total     |
| 2019 | Très hétérogène | 1               | 4          | 2         | 1             | 8         |
|      | Hétérogène      | 2               | 8          | 3         | 2             | 15        |
|      | Homogène        | 2               | 6          | 8         | 1             | 17        |
|      | Très homogène   | 1               | 2          | 2         | 3             | 8         |
|      | <b>Total</b>    | <b>6</b>        | <b>20</b>  | <b>15</b> | <b>7</b>      | <b>96</b> |

Identifié dans la même classe : 41,7 %

Identifié avec une erreur d'une classe : 37,5 %

Identifié avec une erreur de deux classes : 16,7 %

Identifié avec une erreur de trois classes : 4,2 %

Tableau B. 6 : Indicateur 4 avec la période 2

|      | 2020            |                 |            |           |               |           |
|------|-----------------|-----------------|------------|-----------|---------------|-----------|
|      | Classe          | Très hétérogène | Hétérogène | Homogène  | Très homogène | Total     |
| 2019 | Très hétérogène | 1               | 2          | 2         | 3             | 8         |
|      | Hétérogène      | 2               | 9          | 3         | 0             | 14        |
|      | Homogène        | 2               | 7          | 8         | 1             | 18        |
|      | Très homogène   | 1               | 2          | 2         | 3             | 8         |
|      | <b>Total</b>    | <b>6</b>        | <b>20</b>  | <b>15</b> | <b>7</b>      | <b>96</b> |

Identifié dans la même classe : 43,8 %

Identifié avec une erreur d'une classe : 35,4 %

Identifié avec une erreur de deux classes : 12,5 %

Identifié avec une erreur de trois classes : 8,3 %

- Indicateur 5

Tableau B. 7 : Indicateur 5 avec la période 1

| 2020 |                 |                 |            |           |               |           |
|------|-----------------|-----------------|------------|-----------|---------------|-----------|
| 2019 | Classe          | Très hétérogène | Hétérogène | Homogène  | Très homogène | Total     |
|      | Très hétérogène | 2               | 1          | 1         | 0             | 4         |
|      | Hétérogène      | 2               | 7          | 9         | 4             | 22        |
|      | Homogène        | 1               | 9          | 4         | 3             | 17        |
|      | Très homogène   | 1               | 0          | 4         | 0             | 5         |
|      | <b>Total</b>    | <b>6</b>        | <b>17</b>  | <b>18</b> | <b>7</b>      | <b>96</b> |

Identifié dans la même classe : 27,1 %

Identifié avec une erreur d'une classe : 58,3 %

Identifié avec une erreur de deux classes : 12,5 %

Identifié avec une erreur de trois classes : 2,1 %

Tableau B. 8 : Indicateur 5 avec la période 2

| 2020 |                 |                 |            |           |               |           |
|------|-----------------|-----------------|------------|-----------|---------------|-----------|
| 2019 | Classe          | Très hétérogène | Hétérogène | Homogène  | Très homogène | Total     |
|      | Très hétérogène | 2               | 3          | 2         | 0             | 7         |
|      | Hétérogène      | 2               | 10         | 9         | 6             | 27        |
|      | Homogène        | 2               | 4          | 2         | 2             | 10        |
|      | Très homogène   | 0               | 0          | 4         | 0             | 4         |
|      | <b>Total</b>    | <b>6</b>        | <b>17</b>  | <b>17</b> | <b>8</b>      | <b>96</b> |

Identifié dans la même classe : 29,2 %

Identifié avec une erreur d'une classe : 50 %

Identifié avec une erreur de deux classes : 20,8 %

Identifié avec une erreur de trois classes : 0 %

# Développement de méthodes pour établir le zonage infraparcellaire et le contexte écologique de chaque parcelle agricole dans la perspective d'une agriculture plus durable

Présenté par Daphné Deville

Face à la dégradation des écosystèmes, il est nécessaire d'agir en priorité sur les secteurs qui contribuent le plus à cette dégradation, telle que l'agriculture. Ainsi, en cartographiant la croissance végétale à travers une parcelle agricole, la télédétection permet d'optimiser la gestion des intrants, maximisant ainsi les rendements pour un impact environnemental moindre. La télédétection permet également d'identifier les éléments du maillage écologique abritant la faune.

Dans ce contexte, ce travail en deux volets permettra de fournir un outil d'aide aux agriculteurs.

Dans un premier temps, l'objectif est de développer des méthodes afin d'établir un zonage infraparcellaire sur chaque parcelle à l'aide d'images Sentinel-2. La comparaison de plusieurs indicateurs, créés sur base du LAI, permet d'évaluer la capacité de chaque indicateur à qualifier l'hétérogénéité d'une parcelle agricole.

Les cinq indicateurs sont testés sur des parcelles agricoles situées en Hesbaye sur deux périodes durant les années 2019 et 2020. La première période se déroule de mars à octobre, et la seconde a été déterminée grâce à l'évolution du LAI au fil de l'année, pour le froment d'hiver en 2019 et la betterave sucrière en 2020. Enfin, pour chaque indicateur, chaque période et chaque année, les parcelles sont classées en quatre classes : très hétérogène, hétérogène, homogène et très homogène.

La comparaison des résultats obtenus avec des données topographiques, pédologiques et hydrographiques, ainsi que par des orthophotos, et des images infrarouges, a permis de mettre en avant la pertinence des indicateurs suivants quant à la variabilité intraparcellaire : « déviation absolue par rapport à la moyenne saisonnière du LAI », « maximum de la déviation absolue par rapport à la moyenne instantanée du LAI » et « rapport de la dispersion des valeurs saisonnières du LAI d'un pixel sur celle de la parcelle ».

Dans un second temps, l'objectif est d'évaluer le potentiel écologique relatif d'une parcelle agricole à installer une MAEC sur base de la distance de dispersion d'une espèce choisie.

La zone d'étude, située dans le Condroz, est caractérisée par une analyse multicritère. Les critères sont divisés en quatre axes : (i) la taille de la parcelle, et trois axes basés sur des MAEC, (ii) les mares, (iii) les bandes aménagées, et (iv) les haies et arbres. Pour chaque parcelle, la présence de certains éléments du paysage est quantifiée dans un rayon autour de celle-ci, qui est défini par la distance de dispersion de l'espèce choisie pour chacun des trois derniers axes (triton crêté pour les mares, bourdon pour les bandes aménagées, et bruant jaune pour les haies et arbres).

Enfin, chaque parcelle se voit attribuer un score de 0 à 3 pour chaque axe, et les axes sont ensuite agrégés en un score final du potentiel écologique relatif allant de 0 à 9.